ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1904 г. ТОМЪ 5 No. 1

Радіоактивность

Ѳ. Н. Индриксона.

Въ 1896 г. Беккерель впервые замѣтилъ, что урановая смоляная руда и соли урана испускаютъ лучи, способные дѣйствовать на фотографическую пластинку, которая заключена въ свѣтонепроницаемый конвертъ; было также найдено, что и самъ металлъ уранъ испускаетъ такіе же лучи; кромѣ того оказалось, что лучи урана способны разряжать наэлектризованныя тѣла. Такимъ образомъ при рѣшеніи вопроса о *радіоактивности* даннаго тѣла можно пользоваться, какъ дѣйствіемъ на фотографическую пластинку, такъ и дѣйствіемъ на заряженное тѣло; послѣдній методъ оказался наиболѣе точнымъ, поэтому имъ преимущественно и пользуются.

Лучи, испускаемые соединеніями урана, подчиняются вліянію магнитнаго поля; часть лучей отклоняется магнитомъ, а другая часть лучей не испытываетъ на себѣ никакого дѣйствія магнита. Неотклоняемые магнитомъ лучи названы γ-лучами, а отклоняемые α и β-лучами.

Желаніе выдѣлить изъ урановой смоляной руды наиболѣе активныя части заставило приняться за изслѣдованіе этой руды. При обработкѣ руды было получено нѣсколько соединеній различныхъ активныхъ веществъ; такъ были получены активныя соединенія торія, свинца и висмута, но всѣ они не дали никакихъ характерныхъ новыхъ линій, при изслѣдованіи спектроскопомъ, хотя полученныя соединенія въ нѣсколько тысячъ разъ превосходили активностью урановую руду. Изъ

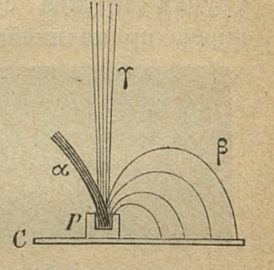
перечисленныхъ активныхъ соединеній весьма интересными оказались соединенія висмута: эти соединенія испускаютъ только неотклоняемые лучи. Г-жѣ Кюри удалось получить препараты въ 30000 разъ активнѣе урановой смоляной руды. Кюри предполагаетъ, что такая активность зависитъ отъ присутствія въ полученныхъ соединеніяхъ особаго активнаго вещества, которое и было ею названо „*полоніемъ*". Не смотря на сильную активность, никакихъ новыхъ линій въ спектрѣ препарата не оказалось, линіи же висмута были очень рѣзки; вслѣдствіе этого Кюри полагаетъ, что въ препаратѣ содержится еще весьма много висмута. Такимъ образомъ вопросъ о существованіи особаго вещества въ соединеніяхъ висмута окончательно не рѣшенъ. Вопросъ о присутствіи особаго вещества въ соединеніяхъ торія и свинца остается также открытымъ.

При изслѣдованіи урановой смоляной руды супруги Кюри выдѣлили очень активные препараты барія, которые показали въ спектрѣ новыя линіи, до сихъ поръ не наблюдавшіяся ни въ какомъ другомъ соединеніи; такимъ образомъ былъ открытъ новый элементъ, который былъ названъ супругами Кюри „*радіемъ*". Послѣ продолжительной обработки полученныхъ соединеній Кюри удалось получить изъ большого количества урановой руды 0·1 gr. хлористаго радія; пользуясь этимъ препаратомъ, г-жа Кюри нашла атомный вѣсъ радія = 225. Рунге и Прехтъ—на основаніи спектроскопическихъ изслѣдованій—нашли атомный вѣсъ радія еще бóльшимъ, именно 257·8. Принявъ атомный вѣсъ радія = 225, ему легко найти мѣсто въ системѣ Менделѣева: онъ помѣщается въ группѣ щелочно-земельныхъ металловъ и находится въ ряду торія и урана; принявъ же число, найденное Рунге и Прехтомъ, придется увеличить число рядовъ въ системѣ Менделѣева. Активность хлористаго радія весьма значительна, дѣйствія его во много тысячъ разъ превышаютъ дѣйствія урановой смоляной руды: такъ для того, чтобы заставить подѣйствовать урановую руду на фотографическую пластинку, заключенную въ свѣтонепроницаемый конвертъ, надо продолжать экспозицію въ теченіе 8—9 дней; между тѣмъ какъ для хлористаго радія время экспозиціи уменьшается до 12 часовъ, причемъ снимки получаются весьма хорошіе. Года полтора тому назадъ удалось получить бромистый радій, который активнѣе хлористаго радія въ 100 разъ, но его получается очень немного: изъ 1 тонны руды удается выдѣлить около 1 gr. Радій дѣйствуетъ

на стеклянную трубку, въ которой онъ находится: стекло дѣлается красноватымъ, а затѣмъ фіолетовымъ.

Лучи радія можно раздѣлить на 3 группы: 1) α-лучи, 2) β лучи и 3) γ-лучи. Какъ α, такъ и β-лучи отклоняются въ магнитномъ полѣ, при чемъ отклоненіе α-лучей происходитъ въ ту сторону, куда отклонился бы проводникъ, по которому токъ идетъ въ томъ же направленіи, какъ и лучи, выходящія изъ препарата радія; отклоненіе же β-лучей происходитъ въ противоположную сторону: β-лучи отклоняются подъ вліяніемъ магнита въ ту сторону, куда отклонились бы катодные лучи; γ-лучи вовсе не отклоняются.

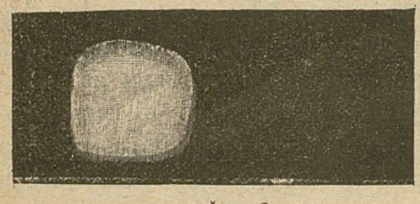
Для опредѣленія направленія лучей радія въ магнитномъ полѣ представимъ, что впереди плоскости рисунка (фиг. 1) находится сѣверный полюсъ электромагнита, позади южный; тогда различнаго рода лучи будутъ отклоняться такъ, какъ показано на рисункѣ.



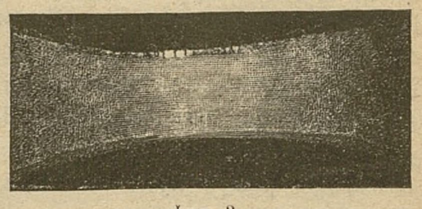
Фиг. 1.

Въ декабрѣ 1902 года мною были произведены снимки отклоненія β-лучей радія. 50 mgr. бромистаго радія, заключенные въ капсулѣ изъ каучука и покрытые тонкою пластинкою слюды, были помѣщены въ свинцовый ящичекъ, открытый сверху; стѣнки этого ящичка были толщиною 3—4 mm. Этотъ свинцовый ящичекъ ставился на фотографическую пластинку ($6{\cdot}5 \times 18$ cm.), заключенную въ свѣтонепроницаемый конвертъ. Пластинка помѣщалась внизу наконечниковъ большого электромагнита, такъ что радій приходился между полюсами электромагнита. Наверху наконечниковъ электромагнита помѣщалась такая же пластинка въ свѣтонепроницаемомъ конвертѣ, обращенная чувствительнымъ слоемъ къ радію. На фиг. 2 изображена нижняя пластинка; на ней видно, что лучи радія проникли даже чрезъ свинецъ толщиною 3—4 mm. и дали изображеніе свинцоваго ящика; на фиг. 3 изображена верхняя пластинка; темныя мѣста по бокамъ представляютъ тѣнь наконечниковъ электромагнита. Чрезъ электромагнитъ токъ не былъ пущенъ, и лучи были внѣ магнитнаго поля. Фиг. 4 и фиг. 5 представляютъ нижнюю и верхнюю пластинки, когда было возбуждено магнитное поле, т. е. когда чрезъ электромагнитъ пропускался токъ; на фиг. 4 мѣсто сѣвернаго полюса обозначено буквою *N*, южнаго — *S*. Лучи β

отклонены направо, если смотрѣть по направленію отъ N къ S. На верхней пластинкѣ (фиг. 5) замѣтно слабое дѣйствіе лучей, которые не отклоняются, и снимокъ похожъ на фиг. 3. Разстояніе между верхней и нижней пластинками было 8 cm.,

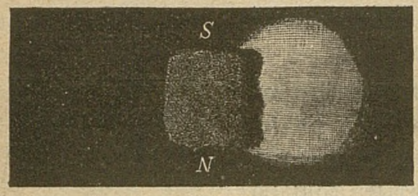


фиг. 2.

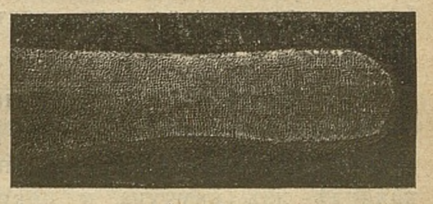


фиг. 3.

экспозиція 35 минутъ; сила магнитнаго поля 4500 единицъ. Препаратъ радія можно сравнить съ круксовскою трубкою: въ трубкѣ Крукса существуютъ катодные лучи, распространяющіеся прямолинейно и отклоняемыя весьма сильно магнитомъ;



фиг. 4.



фиг. 5.

въ окружающемъ же трубку пространствѣ возникаютъ X-лучи, на которыя магнитъ не дѣйствуетъ; если въ пластинкѣ, служащей катодомъ, сдѣлать отверстіе, то въ пространствѣ за катодомъ замѣчаются въ трубкѣ особые *закатодные* лучи (Kanalstrahlen), которые отклоняются магнитомъ очень мало, но въ сторону, противоположную отклоненія катодныхъ лучей. α-лучи можно уподобить закатоднымъ лучамъ, β-лучи—катоднымъ и γ-лучи—X-лучамъ. Какъ извѣстно, катодные лучи не обладаютъ большою способностью проникать чрезъ тѣла, но могутъ проходить чрезъ тонкій листъ алюминія, лучи же Рёнтгена способны проходить чрезъ тѣла. Оказывается, что β-лучи обладаютъ гораздо меньшею способностью проходить чрезъ тѣла, чѣмъ γ-лучи. Что касается α-лучей, то способность ихъ проникать чрезъ тѣла ничтожна: достаточно прикрыть радій тонкимъ слоемъ слюды, чтобы задержать всѣ α-лучи. О способности различныхъ родовъ лучей проникать чрезъ тѣла можно судить по слѣдующимъ даннымъ Рутерфорда: для уменьшенія интенсивности лучей въ два раза надо пропускать ихъ чрезъ пластинку алюминія

толщиною въ 0·005 mm. для α-лучей, 0·5 mm. для β-лучей и 80 mm. γ-лучей.

Опыты Кюри показали, что лучи радія, падая на металлическую пластинку, сообщаютъ ей отрицательный зарядъ, между тѣмъ, какъ самъ радій оказывается заряженнымъ положительно. Такъ какъ въ этихъ опытахъ пластинка была отдѣлена отъ радія слоемъ алюминія въ 0·01 mm. толщины и эбонита въ 0·3 mm., то, очевидно, чрезъ алюминій и эбонитъ могли пройти только β и γ-лучи радія, которые и сообщали металлической пластинкѣ отрицательный зарядъ, между тѣмъ α-лучи не могли пройти чрезъ слой такой толщины, и радій былъ заряженъ положительно.

Лучи радія способны оказывать химическія дѣйствія. Какъ было уже упомянуто, стекло подъ вліяніемъ лучей радія окрашивается сперва въ красноватый цвѣтъ, а затѣмъ въ фіолетовый. Подъ продолжительнымъ вліяніемъ лучей радія желтая платиносинеродистая соль дѣлается коричневою, бѣлый фосфоръ переходитъ въ красный. Дѣйствіе лучей радія на кожу было замѣчено Беккерелемъ, у котораго на кожѣ, случайно подвергнутой въ теченіе 6 часовъ дѣйствію радія, чрезъ нѣсколько времени появилась краснота, а затѣмъ образовалась рана. Бромистый радій дѣйствуетъ еще сильнѣе: одинъ изъ петербургскихъ врачей въ продолженіи 2 часовъ продержалъ на рукѣ 30 mgr. бромистаго радія; чрезъ нѣсколько дней образовалась рана, которая потребовала около 5 мѣсяцевъ времени для своего излѣченія. Животныя, подъ кожу которыхъ вводились трубочки съ хлористымъ радіемъ, поражались параличомъ.

Лучи радія, подобно лучамъ Рёнтгена, дѣлаютъ воздухъ проводникомъ электричества. Кромѣ дѣйствія на заряженный электроскопъ они могутъ вызвать появленіе искры между шариками искромѣра, соединеннаго со спиралью Румкорфа. Если ко вторичной обмоткѣ спирали Румкорфа присоединить шарики искромѣра и параллельно ввести лейденскую банку, то, раздвинувъ шарики на извѣстное разстояніе, мы не получимъ искры между ними. Приблизивъ къ шарикамъ искромѣра препаратъ радія, мы замѣтимъ появленіе искры, которая опять исчезаетъ, если удалить отъ искромѣра препаратъ радія.

Препараты радія свѣтятся въ темнотѣ очень слабо. Изслѣдуя спектръ этого свѣченія, Гюгенсъ нашелъ, что всѣ его линіи подходятъ къ линіямъ спектра азота, но чуть-чуть смѣщены

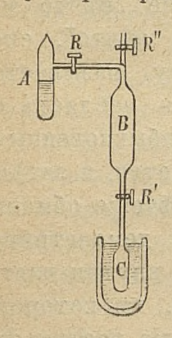
въ сторону. Если заставить лучи радія падать на нѣкоторыя соли, то почти всѣ соли, свѣтящіяся отъ дѣйствія рёнтгеновскихъ лучей, свѣтятся и отъ препаратовъ радія. Однако различные лучи радія различно дѣйствуютъ на соли. Такъ α-лучи вызываютъ сильное свѣченіе обманки Сидо (Sidotsche Blende - сѣрнистый цинкъ, кристаллы гексагональной системы), β-лучи на эту обманку дѣйствуютъ слабо. Платиносинеродистый барій свѣтится преимущественно отъ β-лучей. Если къ экрану изъ обманки Сидо приблизить кусочекъ радія на разстояніи около 1 mm. и наблюдать чрезъ лупу поверхность экрана, то она представляется усѣянною вспыхивающими точками, мѣста коихъ непрерывно мѣняются; какъ будто зерна обманки подвергаются бомбандировкѣ частицъ. Для демонстрированія этого явленія Круксъ построилъ приборъ, названный имъ спинтарископомъ (отъ греч. σπινϑαρίς—искорка), состоящій изъ мѣдной трубки, на одномъ концѣ которой находится экранъ изъ обманки Сидо, на другомъ—лупа; предъ экраномъ помѣщается проволочка съ закрѣпленномъ на ней ничтожнымъ кусочкомъ бромистаго радія, удаленная отъ экрана на разстояніе 1 mm. Если разсматривать экранъ чрезъ лупу, то вся его поверхность представляется усѣянною множествомъ свѣтящихся точекъ, постоянно мѣняющихъ мѣсто; зрѣлище чрезвычайно красивое. Мнѣ удалось самому построить приборчикъ въ этомъ родѣ, только съ нѣкоторыми измѣненіями. При опытахъ съ бромистымъ радіемъ, нѣсколько крупинокъ его попало на обманку Сидо; крупинки были такъ ничтожны, что выдѣлить ихъ изъ обманки при всемъ желаніи не удалось. Я собралъ тѣ части обманки, гдѣ находились эти ничтожные крупинки, и посыпалъ этою смѣсью бумагу, покрытую предварительно гуммиарабикомъ. При разсматриваніи въ темнотѣ чрезъ лупу, такой препаратъ представляетъ совершенное подобіе звѣзднаго неба: однѣ звѣзды сіяютъ спокойно (частички радія), другія же постоянно мерцаютъ. Недавно въ Физическомъ Институтѣ былъ полученъ приборъ Крукса; смотря въ него, мы видимъ только мерцающіе точки, а „постоянно сіяющихъ звѣздъ“ въ немъ нѣтъ. Явленіе, наблюдаемое въ спинтарископѣ, объясняется ударами положительныхъ іоновъ (α-лучей) радія о частицы обманки: гдѣ такой іонъ ударитъ въ обманку, тамъ частица обманки и вспыхиваетъ. Если кусочекъ радія отодвигать отъ экрана, то

число вспышекъ становится все меньше и меньше; когда радій находится въ разстояніи 5 cm. отъ экрана, можно замѣтить лишь одну или двѣ вспышки въ секунду.

Препараты торія и радія (послѣдняго при нагрѣваніи или въ растворѣ) испускаютъ не только лучи, но еще „нѣчто матеріальное"—подобное газу. Это „матеріальное нѣчто", способное распространяться въ воздухѣ подобно газу, называется *эманаціею.* Попадая на различныя тѣла, эманація осѣдаетъ на нихъ и дѣлаетъ ихъ активными. Активность обыкновенныхъ тѣлъ, возбужденная эманаціею, сперва уменьшается, а затѣмъ и совершенно исчезаетъ. Эманація вызываетъ свѣченіе обманки Сидо и, благодаря этому, ее можно наглядно демонстрировать. Если взять стеклянную трубку, покрытую внутри частицами обманки Сидо, и соединить ее съ сосудомъ, въ которомъ находится растворъ бромистаго радія (5 mgr. радія растворены въ 10 c. cm. воды), то чрезъ нѣсколько времени можно замѣтить распространеніе эманаціи. Частицы эманаціи посрединѣ трубки движутся нѣсколько скорѣе, чѣмъ по краямъ; поэтому начало распространяющейся эманаціи представляетъ изъ себя конусъ. Если разобщить трубку съ сосудомъ, въ которомъ находится растворъ бромистаго радія, и выкачать изъ нея воздухъ, а затѣмъ сосудъ соединить съ трубкою, то свѣченіе распространяется по всей трубкѣ моментально, при чемъ на болѣе удаленномъ концѣ длинной трубки (2 аршина длины) свѣченіе гораздо слабѣе. При впусканіи воздуха въ трубку, эманація увлекается входящимъ воздухомъ и какъ бы смывается — трубка отчасти гаснетъ.

Эманацію, подобно газу, можно сгущать. Погружая въ жидкій воздухъ часть трубки, по которой распространялась эманація, Рутерфордъ замѣтилъ, что эманація при этомъ не выходила изъ трубки. Если трубку вынуть изъ жидкаго воздуха, то мало по малу эманація появляется, при чемъ она начинаетъ распространяться съ того мѣста трубки, которое было погружено въ жидкій воздухъ, что можно замѣтить по сильному свѣченію, сосредоточенному въ этомъ мѣстѣ. Сгущеніе эманаціи весьма хорошо можно демонстрировать на приборѣ, устроенномъ Кюри. Въ сосудѣ *A* (фиг. 6) находится растворъ соли радія (опытъ удается и съ вышеприведеннымъ растворомъ); посредствомъ крана *R* этотъ сосудъ можетъ быть отдѣленъ отъ остальной части прибора.

Открываютъ краны R' и R'' и чрезъ трубку, гдѣ находится послѣдній кранъ, выкачиваютъ воздухъ. Стѣнки сосудовъ *B* и *C* покрыты обманкою Сидо; сосудъ *C* помѣщается въ стаканѣ Дюара. Когда воздухъ въ сосудахъ *B* и *C* разрѣженъ, то открываютъ кранъ R'; эманація распространяется, и стѣнки сосудовъ *B* и *C* начинаютъ свѣтиться, при чемъ интенсивность свѣченія вездѣ одинакова. Въ стаканъ Дюара наливаютъ жидкаго воздуха, такъ чтобы сосудъ *C* былъ въ него погруженъ. По прошествіи нѣкотораго времени закрываютъ краны *R* и R' и удаляютъ стаканъ съ жидкимъ воздухомъ. Свѣченіе въ сосудѣ *C* будетъ гораздо интенсивнѣе, чѣмъ въ сосудѣ *B*. Когда сосудъ *C* нагрѣется до температуры комнаты, то открываютъ кранъ R' — свѣченіе въ сосудѣ *B* становится сильнѣе, и чрезъ нѣсколько времени интенсивности свѣченій въ сосудахъ *B* и *C* дѣлаются одинаковыми.



фиг. 6.

Изъ опытовъ надъ диффузіею эманаціи въ газахъ Рутерфордъ находитъ атомный вѣсъ эманаціи лежащимъ между 40 и 100. Судя по свойствамъ эманаціи, Рутерфордъ относитъ ее къ членамъ ряда аргона. Рамзай и Содди изслѣдовали газы, выдѣляющіеся изъ воднаго раствора бромистаго радія; ими было найдено, что изъ этого раствора выдѣляются газы: водородъ, кислородъ, углекислота и гелій. Была подвергнута изслѣдованію эманація радія. Для этого съ сосудомъ, содержащимъ растворъ бромистаго радія, соединялась U-образная трубка, погруженная въ жидкій воздухъ; по удаленіи изъ жидкаго воздуха эта трубка промывалась кислородомъ, и затѣмъ изъ нея выкачивался кислородъ. Гейслеровская трубка, присоединенная къ вышеназванной U-образной трубкѣ, при наблюденіи спектроскопомъ давала совершенно новый спектръ, который Рамзай считаетъ за спектръ эманаціи. Въ теченіе 5 дней наблюденій не производилось; послѣ этого срока наблюденія были возобновлены, и спектръ оказался сходенъ со спектромъ гелія. Контрольный опытъ далъ тѣ же результаты. Вышеприведенные опыты Рамзая представляютъ изъ себя только предварительное изысканіе. Дальнѣйшіе опыты его, навѣрное, разъяснятъ эти интересныя наблюденія надъ природою эманаціи.

Какъ было упомянуто, эманація можетъ сообщать тѣламъ активность. Эту активность тѣла въ особенности сильно пріоб-

рѣтаютъ отъ эманаціи, если они заряжены отрицательно. Возбудить активность въ тѣлахъ можно также, если ихъ оставить въ продолженіи нѣсколькихъ часовъ заряженными отрицательно. Возбужденная такимъ образомъ активность отличается отъ активности, полученной отъ эманаціи: такая активность даетъ гораздо больше лучей, обладающихъ способностью проходить чрезъ тѣла. Для объясненія этого явленія необходимо принять существованіе нѣкотораго активнаго начала въ воздухѣ. Уже нѣсколько лѣтъ тому назадъ изслѣдованія Эльстера и Гейтеля показали, что разрядъ наэлектризованнаго тѣла въ воздухѣ происходитъ не отъ плохой изоляціи, а отъ непосредственной потери электричества въ воздухъ, причемъ наблюдается зависимость этой потери электричества (разсѣянія электричества) отъ метеорологическихъ условій: наибольшее разсѣяніе наблюдается въ чистомъ воздухѣ, т. е. свободномъ отъ твердыхъ частицъ (отъ пыли) и отъ влаги, и при ясномъ небѣ. Было также найдено, что разсѣяніе электричества гораздо больше на открытомъ мѣстѣ, чѣмъ въ закрытомъ помѣщеніи. Исключеніемъ изъ этого является воздухъ погребовъ и подваловъ, разсѣяніе въ которомъ еще больше. Этотъ фактъ былъ тщательно изслѣдованъ Эльстеромъ и Гейтелемъ: оказалось, что сильная іонизація [1]) воздуха погребовъ и подваловъ зависитъ отъ того, что воздухъ, содержащійся въ почвѣ, очень сильно іонизированъ. Если въ углубленіе, сдѣланное въ почвѣ, помѣстить футляръ и въ него трубку, покрытую обманкою Сидо, то послѣ продолжительнаго пребыванія въ почвѣ трубка сильно свѣтится, причемъ можно замѣтить на обманкѣ тѣ же явленія, которыя наблюдаются въ спинтарископѣ: при разсматриваніи обманки чрезъ лупу вся поверхность представляется усѣянною вспыхивающими частицами. Породы почвы имѣютъ вліяніе на іонизацію воздуха: наиболѣе радіоактивною оказалась глина. Гимштедтъ приписываетъ іонизацію воздуха, взятаго изъ почвы, вліянію влажности: воздухъ, пропущенный сквозь сухую почву, оказался менѣе іонизированъ, чѣмъ пропущенный чрезъ ту же почву, предварительно увлажненную. Изслѣдованія показали, что проводимость воздуха не обусловливается присутствіемъ водяныхъ частицъ, такъ какъ послѣ вы-

---

[1]) Іонизація газа состоитъ въ томъ, что атомы расщепляются на части положительно и отрицательно заряженные іоны. (См. статьи въ *Физич. Обозр.* за прошлые годы).

сушиванія воздухъ сохранялъ свою проводимость. Іонизація воздуха, по мнѣнію Гимштедта, происходитъ здѣсь вслѣдствіе тѣснаго соприкосновенія частицъ воды съ воздухомъ и диссоціаціи этой смѣси, причемъ образуются іоны различныхъ знаковъ; вслѣдствіе этого іонизація атмосфернаго воздуха зависитъ отъ того, какое количество влаги принимаетъ участіе въ образованіи іоновъ.

(Продолженіе будетъ).

Выводъ элементарныхъ формулъ геометрической оптики изъ разсмотрѣнія кривизны волнъ

В. А. Михельсона[1].

Нижеприводимые выводы по своей простотѣ и естественности, можно сказать, напрашиваются сами собою и, по моему, должны служить необходимою ступенью для выясненія дѣйствія оптическихъ приборовъ съ точки зрѣнія теоріи волненія. Тѣмъ не менѣе они не встрѣчаются ни въ одномъ изъ извѣстныхъ мнѣ учебниковъ или курсовъ физики. Только въ прекрасной книжкѣ Сильвануса Томпсона „Light visible and invisible" они приведены въ приложеніе къ первой лекціи на стр. 55—70. Въ русскомъ переводѣ этой книги В. Чепинскаго (сдѣланномъ вообще довольно небрежно), эти выводы почему-то опущены. Поэтому я считалъ бы желательнымъ ознакомить съ ними читателей „Физическаго Обозрѣнія".

Въ геометрической оптикѣ говорятъ о *лучахъ* свѣта, расходящихся отъ дѣйствительныхъ или мнимыхъ свѣтящихъ точекъ и собирающихся въ (дѣйствительныхъ или мнимыхъ) фокусахъ. Съ точки зрѣнія физической оптики отдѣльные лучи, какъ геометрическія линіи, не имѣютъ реальнаго существованія. Существуютъ лишь волны, распространяющіяся отъ источниковъ и

---

[1]) Изъ лекцій, читанныхъ въ Московскомъ Сельско-хозяйственномъ Институтѣ.

сходящіяся въ фокусахъ. Въ изотропной средѣ волны, возбуждаемыя свѣтящею точкою, имѣютъ сферическую форму, и лучи суть не что иное, какъ нормали къ этимъ волнамъ (имѣющія направленія радіусовъ).

Характерною особенностью свѣтовой волны въ каждомъ ея положеніи является ея *кривизна*. Извѣстно, что кривизна какой-нибудь поверхности измѣряется суммою обратныхъ величинъ ея главныхъ радіусовъ кривизны, $1/r_1 + 1/r_2$. Въ случаѣ шаровой поверхности оба радіуса кривизны одинаковы, слѣдовательно мѣрою кривизны будетъ $2/r$ или величина пропорціональная этому выраженію, напр. $1/r$.

Всякія оптическія стекла, трубы, микроскопы, собирающія и разсѣвающія зеркала имѣютъ исключительно цѣлью надлежащимъ образомъ *измѣнять кривизну* свѣтовыхъ волнъ. Въ самомъ дѣлѣ, всѣ такіе приборы должны собирать въ одну опредѣленную точку всякій пучекъ лучей, исходящихъ изъ нѣкоторой другой точки, т. е., какъ говорятъ, они должны превращать одинъ гомоцентрическій пучекъ лучей въ другой, также гомоцентрическій.

На языкѣ же физической оптики это означаетъ лишь, что эти приборы превращаютъ одну систему концентрическихъ волнъ въ другую систему также концентрическихъ, но, конечно, съ другимъ центромъ; они только измѣняютъ кривизну каждой проходящей чрезъ нихъ волны. Но прежде, чѣмъ выразить это измѣненіе количественно, намъ надо условиться о томъ, какъ мы будемъ измѣрять кривизну движущейся свѣтовой волны.

Такъ какъ мы разсматриваемъ только волны сферическія, то кривизна ихъ всегда будетъ измѣряться величиною $1/r$, обратною радіусу сферы, т. е. разстоянію волны отъ ея центра. Но какой знакъ приписать этой кривизнѣ? Условимся считать *положительною* кривизну волны, если направленіе ея радіуса кривизны (отъ волны къ центру) *совпадаетъ* съ направленіемъ ея распространенія, т. е. если волна, стремясь къ фокусу, движется впередъ своею вогнутою стороною. *Отрицательною* же мы будемъ считать кривизну тѣхъ волнъ, радіусъ кривизны которыхъ обращенъ назадъ, т. е. тѣхъ, которыя перемѣщаются впередъ своею *выпуклостью*, удаляясь отъ источника или отъ фокуса.

У самой свѣтящей точки кривизна расходящихся волнъ $= -\infty$. Когда лучи дѣлаются параллельными, волна обращается

въ плоскую, и кривизна ея = 0. При приближеніи къ дѣйствительному фокусу кривизна волнъ принимаетъ очень большое положительное значеніе, а въ моментъ прохожденія чрезъ фокусъ мѣняется съ $+\infty$ на $-\infty$.

Имѣя въ виду вышесказанное, чрезвычайно легко убѣдиться въ слѣдующихъ предложеніяхъ:

1) При отраженіи отъ плоскаго зеркала кривизна волны не измѣняется. Въ самомъ дѣлѣ извѣстно, что отраженная волна симметрична къ тому положенію, которое заняла бы падающая въ случаѣ отсутствія зеркала. Слѣдовательно здѣсь мѣняется направленіе радіуса кривизны, а величина его не измѣняется. Но такъ какъ при этомъ и направленіе распространенія волны измѣняется въ прямо противоположное, то знакъ кривизны также не измѣняется.

2) При отраженіи отъ вогнутаго зеркала или при прохожденіи чрезъ собирающія чечевицы, кривизна волны увеличивается.

3) При отраженіи отъ выпуклаго зеркала или при прохожденіи чрезъ разсѣвающія чечевицы, кривизна волны уменьшается.

Оптическая сила прибора измѣряется тою кривизною, которую онъ способенъ сообщить плоской волнѣ (первоначальная кривизна которой, какъ уже замѣчено, = 0).

Замѣтимъ, что, если отражающая или преломляющая поверхность есть значительная часть сферы, а не небольшой лишь ея сегментъ, то видоизмѣненная ею волна уже не будетъ въ точности сферическою, отраженные лучи уже не сойдутся всѣ въ одной точкѣ, а пересѣкутся лишь на нѣкоторой поверхности, называемой въ случаѣ отраженія *катакаустикою*, въ случаѣ преломленія *діакаустикою*. Это уклоненіе отъ сферической формы и отъ концентричности измѣненныхъ приборомъ волнъ называется *сферическою аберраціею*. Только лучи, отраженные (или преломленные) подъ малыми углами съ линіею, соединяющею источникъ съ центромъ оптическаго прибора, соберутся почти точно въ одной точкѣ. Поэтому въ дальнѣйшемъ будемъ разсматривать лишь небольшіе сферическіе сегменты, т. е. допустимъ, что „отверстіе" оптическихъ приборовъ и дуги сегментовъ свѣтовыхъ волнъ малы сравнительно съ ихъ радіусами кривизны.

Но въ такомъ случаѣ мы можемъ ввести чрезвычайно простой геометрическій способъ измѣренія кривизны сферическихъ сегментовъ. Въ самомъ дѣлѣ для небольшихъ дугъ круга EAE_1

(фиг. 1) при постоянной хордѣ EE_1 кривизна измѣряется съ большимъ приближеніемъ глубиною AD кругового сегмента. Изъ чертежа видно, что $ED^2 = AD.DB = AD(2r - AD)$. Откуда

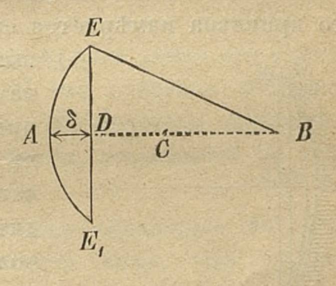
$$AD = \frac{ED^2}{2r - AD};$$

но если ED = постоянной величинѣ, и AD мало въ сравненіи съ $2r$, то въ знаменателѣ AD можно отбросить и положить

$$AD = \frac{\text{Const}}{2r},$$

т. е. глубина сегмента AD обратно пропорціональна радіусу сферы или прямо пропорціональна ея кривизнѣ.

Согласно обозначенію, принятому въ техникѣ, будемъ называть длину AD *стрѣлкою* дуги EAE_1 или соотвѣтственнаго шарового сегмента. Слѣдовательно кривизны шаровыхъ сегментовъ съ небольшимъ постояннымъ отверстіемъ измѣряются ихъ стрѣлками. Если дуга занимаетъ не болѣе 20^0, то ошибка отъ замѣны истинной кривизны $(2/r)$ стрѣлкою не превосходитъ одного процента. (Длину постоянной хорды EE_1, т. е. діаметра отверстія при этомъ принимаемъ = 4; впрочемъ это несущественно, такъ какъ всѣ уравненія, содержащія кривизну, однородны и потому мы можемъ замѣнить единицу кривизны любою величиною ей пропорціональною).



фиг. 1.

Въ оптикѣ за единицу кривизны условились принимать кривизну шаровой поверхности, имѣющей радіусъ = 1 метру. За единицу *оптической силы* условились принимать силу такого прибора (стекла или зеркала), который сообщаетъ плоской волнѣ кривизну = 1. Очевидно, что такому условію удовлетворяетъ, напримѣръ, вогнутое зеркало, главное фокусное разстояніе котораго = 1 метру (слѣдовательно радіусъ = 2 метрамъ). Силу такого оптическаго прибора называютъ одною *діоптріею.*

Будемъ обозначать:

оптическую силу зеркала или стекла, выраженную въ діоптріяхъ, ... $F = \pm 1/f$

его главное фокусное разстояніе (въ метрахъ) . f

кривизну поверхности . . . . $R = \pm 1/r$

ея радіусъ кривизны . . . . r

кривизну волны, падающей на приборъ, . . . $P = \pm 1/p$

ея радіусъ кривизны . . . . p

кривизну волны, выходящей изъ прибора,. . . $Q = \pm 1/q$

ея радіусъ кривизны . . . . q

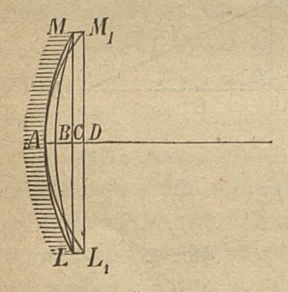
показатель преломленія стекла . . . . $\mu = v_1/v_2$

показатель скорости его . . . . $h = v_2/v_1$

Здѣсь v_1 и v_2 означаютъ скорости распространенія свѣта въ воздухѣ и въ стеклѣ.

Сферическія зеркала.

Положимъ, что мы имѣемъ сферическое зеркало MAL (фиг. 2). Его кривизна измѣряется стрѣлкою CA. Пусть на него падаетъ выпуклая волна MBL, кривизна которой измѣряется стрѣлкою BC и имѣетъ отрицательный знакъ. Когда края волны въ точкахъ M и L уже достигнутъ зеркала, средина волны будетъ еще находиться въ точкѣ B. Но когда средина волны достигнетъ зеркала въ точкѣ A, то на краяхъ обратное (отраженное) волнообразное движеніе уже успѣетъ отойти отъ зеркала на разстояніе $MM_1 = LL_1 = AB = CD$. Слѣдовательно отраженная волна будетъ имѣть форму M_1AL_1 и ея кривизна будетъ измѣряться стрѣлкою AD.



фиг. 2.

Но, очевидно,

$$AD = AC + CD = AC + AB;$$

откуда, замѣтивъ, что

$$AB = AC - BC,$$

получимъ:

$$AD = 2AC - BC. \qquad (1)$$

Здѣсь AD есть кривизна отраженной волны (Q); по преды-

дущему AC есть кривизна зеркала (R), наконецъ BC есть кривизна падающей волны (P); слѣдовательно урав. (1) можно написать такъ:

$$Q = 2R + P \tag{2}$$

или

$$\frac{1}{q} = \frac{2}{r} - \frac{1}{p}, \tag{3}$$

что тожественно съ общепринятою формулою зеркалъ:

$$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f}. \tag{4}$$

Если принять $P = 0$, то уравненіе (2) опредѣлитъ намъ оптическую силу зеркала:

$$F = 2R = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}. \tag{5}$$

Итакъ оптическая сила вогнутаго зеркала равна его удвоенной кривизнѣ, т. е. обратной величинѣ его главнаго фокуснаго разстоянія. Уравненіе (2) показываетъ, что *кривизна отраженной волны равна кривизнѣ первоначальной волны, увеличенной на оптическую силу зеркала.*

Если мы имѣемъ дѣло съ выпуклымъ зеркаломъ, то совершенно подобное же разсужденіе покажетъ намъ, что первоначальная кривизна волны будетъ уменьшена на двойную кривизну зеркала. Поэтому, если въ этомъ случаѣ считать оптическую силу зеркала отрицательною, $F = -2R$, то окажется, что уравненіе

$$Q = P + F \tag{6}$$

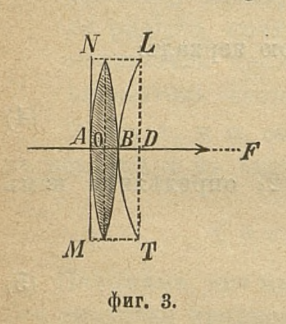
даетъ кривизну отраженной волны, какъ для вогнутыхъ, такъ и для выпуклыхъ зеркалъ.

Сферическія стёкла.

Уравненіе (6) примѣнимо и къ оптическимъ стекламъ. Въ самомъ дѣлѣ, если сила оптической чечевицы равна F, то по самому опредѣленію она сообщаетъ плоской волнѣ кривизну F. Если же на нее падаетъ не плоская волна, а волна, уже имѣющая кривизну P, то кривизна F прибавляется (алгебраически)

къ этой начальной кривизнѣ и кривизна преломленной волны опредѣляется уравненіемъ (6), которое тождественно съ общепринятымъ уравненіемъ (4). Уравненіе (6) приложимо, какъ къ собирающимъ, такъ и къ разсѣвающимъ чечевицамъ. Въ послѣднемъ случаѣ F отрицательно.

Для того, чтобы вывести зависимость оптической силы чечевицы отъ ея формы и показателя преломленія (μ), разсмотримъ сначала простѣйшій примѣръ тонкой собирающей чечевицы (фиг. 3). Положимъ, что на нее падаетъ плоская волна MAN и выходитъ изъ нея въ видѣ вогнутой волны съ кривизною $F = \pm BD$. Въ то время, пока внутри чечевицы свѣтъ проходитъ путь AB, въ воздухѣ у краевъ чечевицы проходится путь NL. Слѣдовательно



фиг. 3.

(7) $$\frac{NL}{AB} = \frac{v_1}{v_2} = \mu \text{ или } NL - AB = AB(\mu - 1);$$

но изъ чертежа непосредственно видно, что

$$BD = NL - AB = F;\ AB = AO + OB = R_1 - R_2,$$

гдѣ $R_1 (= AO)$ и $R_2 (= -OB)$ обозначаютъ кривизны первой и второй поверхности чечевицы. Слѣдовательно написанное урав. (7) и есть не что иное, какъ выраженіе оптической силы нашей чечевицы:

(8) $$F = (R_1 - R_2)(\mu - 1).$$

Эта формула тождественна съ выводимымъ въ геометрической оптикѣ гораздо болѣе сложнымъ путемъ уравненіемъ

(8') $$\frac{1}{f} = \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)(\mu - 1).$$

Это же уравненіе (8) выражаетъ собою силу и всякой другой *тонкой* чечевицы (собирающей или разсѣвающей), если только брать кривизну поверхностей всегда съ надлежащимъ знакомъ: здѣсь, какъ и во всемъ послѣдующемъ, кривизна преломляющей поверхности считается положительною, если направленіе радіуса кривизны (отъ поверхности къ центру) совпадаетъ

съ направленіемъ распространенія волны, отрицательною—въ противномъ случаѣ.

Если двѣ тонкія чечевицы приставлены *непосредственно* одна къ другой, то оптическія силы ихъ алгебраически складываются; оптическая сила сложной чечевицы будетъ равна суммѣ оптическихъ силъ отдѣльныхъ чечевицъ (8).

Чтобы получить чечевицу, ахроматизированную напримѣръ для двухъ спектральныхъ линій C и F, нужно подобрать кривизну каждой изъ нихъ такъ, чтобы оптическая сила сложной чечевицы для обоихъ названныхъ цвѣтовъ была одинакова. Если R_1 и R_2 обозначаютъ кривизны поверхностей первой чечевицы съ показателями μ_C и μ_F, R_3 и R_4—кривизны поверхностей второй чечевицы съ показателями преломленія n_C и n_F, то, очевидно, должно быть:

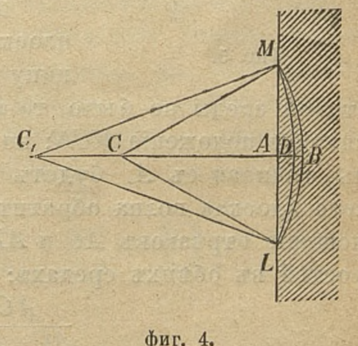
$$(R_1-R_2)(\mu_C-1)+(R_3-R_4)(n_C-1)=(R_1-R_2)(\mu_F-1)+(R_3-R_4)(n_F-1)$$

или

$$\frac{\mu_F-\mu_C}{n_F-n_C}=-\frac{R_3-R_4}{R_1-R_2}\,. \tag{9}$$

Такъ какъ первая дробь всегда положительна, то во второй числитель и знаменатель должны имѣть разные знаки, т. е. одна чечевица должна быть собирающая, а другая разсѣвающая.

Чтобы получить оптическую силу толстой чечевицы, намъ необходимо предварительно разсмотрѣть, какъ измѣняется кривизна сферической волны при переходѣ ея изъ одной среды въ другую. Положимъ, что плоскость ML (фиг. 4) представляетъ границу двухъ средъ съ показателями преломленія μ_1 и μ_2 ($\mu_2>\mu_1$). Положимъ далѣе, что въ первой средѣ изъ точки C распространяется сферическая волна, которая, если бы не было второй среды, въ извѣстное мгновеніе заняла бы положеніе MBL и имѣла бы кривизну, пропорціональную AB. Но—вслѣдствіе перехода во вторую среду—распространеніе волны, начиная съ точки A, замедляется; волна дѣлается болѣе плоскою и на самомъ дѣлѣ принимаетъ положе-



фиг. 4.

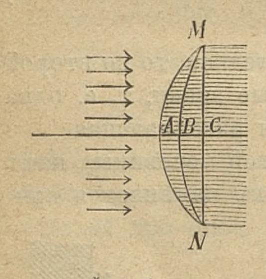
ніе MDL съ центромъ въ C_1. Отношеніе стрѣлокъ AB и AD равно отношенію скоростей распространенія волны въ обѣихъ средахъ:

$$\frac{P}{Q}=\frac{AB}{AD}=\frac{h_1}{h_2}=\frac{\mu_2}{\mu_1}.$$

Отсюда кривизна преломленной волны

$$Q=P\frac{h_2}{h_1}. \tag{10}$$

Итакъ при переходѣ чрезъ *плоскую* границу двухъ средъ кривизна волны измѣняется пропорціонально отношенію скоростей свѣта въ обѣихъ средахъ или обратно пропорціонально ихъ показателямъ преломленія. Такъ какъ въ этомъ случаѣ первоначальная и измѣненная кривизны всегда имѣютъ одинъ знакъ, то можно сказать, что при переходѣ въ болѣе плотную среду отрицательная кривизна выпуклыхъ волнъ увеличивается, а положительная кривизна вогнутыхъ волнъ уменьшается; въ обоихъ случаяхъ сферическія волны нѣсколько выпрямляются, приближаясь къ плоскимъ. При переходѣ изъ болѣе плотной среды въ менѣе плотную, наоборотъ, абсолютное значеніе кривизны увеличивается, т. е. отрицательныя кривизны уменьшаются, а положительныя возростаютъ.



фиг. 5.

Разсмотримъ далѣе случай, когда плоская волна встрѣчаетъ выпуклую границу MAN (фиг. 5) двухъ средъ. Если бы второй среды не было, то въ извѣстный моментъ эта волна заняла бы положеніе MCN; но преломляющею средою середина волны, начиная съ A, будетъ относительно замедлена, вслѣдствіе чего плоская волна обратится въ вогнутую MBN. Очевидно, отношеніе отрѣзковъ AC и AB $(=AC-BC)$ равно отношенію скоростей въ обѣихъ средахъ:

$$\frac{AC}{AC-BC}=\frac{h_1}{h_2}=\frac{\mu_2}{\mu_1};$$

откуда

$$BC=AC\,\frac{h_1-h_2}{h_1}=AC\,\frac{\mu_2-\mu_1}{\mu_2};$$

кривизна преломленной волны

$$F=R\left(1-\frac{h_2}{h_1}\right)=R\left(1-\frac{\mu_1}{\mu_2}\right), \tag{11}$$

гдѣ R кривизна раздѣльной поверхности MAN. Такъ какъ первоначальная волна была плоская, то эта кривизна F и выражаетъ собою оптическую силу раздѣльной поверхности съ кривизною R.

Если первая среда воздухъ, а вторая стекло, то $\mu_1=1$, $h_1=1$, $\mu_2=\mu$ (показатель преломленія стекла), $h_2=h$ и

$$F=R(1-h)=R\left(1-\frac{1}{\mu}\right). \tag{12}$$

Наоборотъ, при переходѣ волны изъ стекла въ воздухъ слѣдуетъ положить: $\mu_2=1$, $h_2=1$, $\mu_1=1/h_1=\mu$ (показатель преломленія стекла); послѣ чего имѣемъ

$$F=R\left(1-\frac{1}{h}\right)=R(1-\mu). \tag{13}$$

Теперь предположимъ, что вогнутая волна съ кривизною P встрѣчаетъ выпуклую раздѣльную поверхность двухъ средъ, имѣющую кривизну R. Эта волна претерпитъ двоякаго рода измѣненіе: во-первыхъ, кривизна ея уменьшится въ отношеніи скоростей свѣта въ обѣихъ средахъ, вслѣдствіе самаго перехода изъ первой среды во вторую, и во-вторыхъ, къ этой кривизнѣ, измѣненной въ отношеніи h_2/h_1, прибавится F—оптическая сила выпуклой поверхности раздѣла. Слѣдовательно окончательная кривизна волны во второй средѣ будетъ

$$Q=P\frac{h_2}{h_1}+F=P\frac{h_2}{h_1}+R\left(1-\frac{h_2}{h_1}\right)$$

или

$$Q=R+(P-R)\frac{h_2}{h_1}. \tag{14}$$

Положимъ, что мы имѣемъ стеклянную чечевицу въ воздухѣ, ограниченную двумя поверхностями съ кривизнами R_1 и R_2.

Показатель преломленія воздуха $=1$, — стекла $=\mu=1/h$. Плоская волна, вступая въ чечевицу, чрезъ поверхность R_1 получитъ по уравненію (12) кривизну

$$F_1 = R_1(1-h).$$

Въ случаѣ безконечно тонкой чечевицы эту-то кривизну мы и должны считать за начальную, когда разсматриваемъ выходъ волны изъ чечевицы въ воздухъ чрезъ вторую ея поверхность. Поэтому мы въ уравненіи (14) должны положить $R=R_2$, $P=F_1$, $h_2=1$ и $h_1=h$. Послѣ чего получимъ окончательную кривизну вышедшей волны, т. е. оптическую силу тонкой чечевицы,

$$F = R_2 + (F_1 - R_2)\frac{1}{h} = R_2 + R_1\frac{(1-h)}{h} - R_2\frac{1}{h}$$

или

$$F = (R_1 - R_2)\left(\frac{1}{h} - 1\right) \tag{15}$$

—уравненіе, уже полученное нами выше болѣе простымъ путемъ (8).

Если толщиною d чечевицы нельзя пренебречь, то формула нѣсколько сложнѣе, но совершенно такъ же легко выводится изъ предыдущихъ соображеній. Стоитъ только вспомнить, что при распространеніи въ однородной средѣ всякая сферическая волна непрерывно увеличиваетъ свою кривизну (см. выше стр. 18). Если первоначальная кривизна волны $L=1/l$, то по прохожденіи пути d по направленію къ фокусу кривизна ея, очевидно, будетъ $L_1 = 1/(l-d)$, т. е. кривизна увеличится въ отношеніи

$$\frac{L_1}{L} = \frac{l}{l-d} = \frac{1}{1-Ld}. \tag{16}$$

Послѣдняя формула примѣнима и къ волнамъ съ отрицательною кривизною, удаляющимся отъ фокуса. Въ этомъ случаѣ выраженіе (16) всегда есть правильная дробь, показывающая въ какомъ отношеніи уменьшается *абсолютная* величина отрицательной кривизны волны. При прохожденіи чрезъ фокусъ отношеніе (16), какъ и самая кривизна, мгновенно мѣняютъ значеніе съ $+\infty$ на $-\infty$.

Если плоская волна, непосредственно по входѣ въ чечевицу, получаетъ кривизну (12)

$$F_1 = R_1\left(1-\frac{1}{\mu}\right),$$

то по прохожденіи въ чечевицѣ пути d она будетъ имѣть кривизну:

$$\frac{F_1}{1-F_1 d} = \frac{R_1(\mu-1)}{\mu-R_1(\mu-1)d}.$$

Подставляя эту величину вмѣсто P въ ур. (14), получимъ оптическую силу толстой чечевицы:

$$F=\left[\frac{R_1}{1-R_1(1-1/\mu)d}-R_2\right](\mu-1). \qquad (17)$$

Наконецъ, если мы имѣемъ какія угодно двѣ чечевицы съ оптическими силами F_1 и F_2, скрѣпленныя на разстояніи a одна отъ другой, то, очевидно, оптическая сила составленной изъ нихъ системы будетъ

$$F=F_2+F_1\frac{1}{1-F_1 a}. \qquad (18)$$

Москва, Петровское Разумовское, 1903 г.

Задачи освѣтительной техники

О. Луммера[1]).

1. *Историческое введеніе.* Когда солнце закатывается за горизонтъ, тогда вступаютъ въ свои права звѣзды, которыя посылаютъ свой блѣдный свѣтъ на погруженную въ темноту землю; ихъ лучи, утомленные и ослабленные почти безконечнымъ

---

[1]) Die Ziele der Leuchttechnik, von Prof. Dr. *Otto Lummer* (Experimentalvortrag, gehalten am 19 März 1902 am Gesellschaftsabend des Elektrotechnischen Vereins zu Berlin). Переводъ съ сокращеніями.

путемъ, повѣствуютъ намъ о томъ, что́ происходило на этихъ звѣздахъ много лѣтъ тому назадъ. Звѣздный свѣтъ имѣетъ мало для насъ значенія и наши ночи темны, если только мѣсяцъ не возвращаетъ намъ нѣсколько лучей закатившагося солнца.

Поэтому понятны стремленія человѣка искуственнымъ способомъ продолжить день, освѣщая ночь. Насколько это ему удалось, объ этомъ мы, жители большихъ городовъ, можемъ судить каждый вечеръ.

Конечно, прошли многія тысячи лѣтъ, пока человѣкъ научился окружать себя столь ослѣпительнымъ искуственнымъ свѣтомъ. Но уже въ древности персы, мидяне, ассиріяне и египтяне съ изысканною роскошью освѣщали свои храмы, дворцы, улицы и площади. Въ Мемфисѣ, Ѳивахъ, Вавилонѣ, Сузѣ и Ниневіи жители едва замѣчали разницу между днемъ и ночью. Вдоль улицъ были тѣсно разставлены бронзовыя и каменныя вазы, наполненныя масломъ, которое горѣло при помощи фитилей.

Если эта давно погибшая цивилизація востока умѣла достигать такихъ блестящихъ успѣховъ освѣщенія, то какъ же далеко то время, когда человѣкъ сумѣлъ впервые зажечь „божественный“ огонь.

Наше первое знакомство съ огнемъ имѣло громадное значеніе на развитіе культуры. Оно отражается въ сказаніяхъ и пѣсняхъ всѣхъ народовъ. Похититель огня возводится греческимъ миѳомъ въ духовнаго просвѣтителя; у римлянъ Веста была богинею домашняго очага и жертвеннаго пламени, и въ честь рожденія свѣта весталки поддерживали вѣчный огонь.

Отъ домашняго очага и жертвеннаго пламени до электрическаго свѣта большой скачокъ. Въ теченіе многихъ вѣковъ огонь очага служилъ и источникомъ свѣта. Только лучина, смоляной факелъ, пропитанная воскомъ солома представляютъ первыя попытки отдѣлить свѣтъ отъ огня, что болѣе или менѣе достигается античными свѣтильниками и средневѣковыми свѣчами. Техника все болѣе стремится раздѣлить освѣщеніе и отопленіе, хотя мы и до сихъ поръ далеки отъ полнаго рѣшенія этой задачи.

Если свѣча нашла себѣ дорогу въ домашній обиходъ, благодаря разцвѣту химической техники прошлаго столѣтія, то и масляная лампа древнихъ не осталась на своемъ низкомъ уровнѣ. Въ 1792 г. къ нимъ присоединился свѣтильный газъ или

„философскій свѣтъ“ по выраженіи Бехера, впервые описавшаго его.

Казалось, что газовое освѣщеніе должно было убить сальную свѣчу и масляную лампу; но на дѣлѣ вышло иначе и изобрѣтеніе свѣтильнаго газа лишь побудило искать способовъ усовершенствованія старыхъ источниковъ свѣта. Точно также возникновеніе электрическаго свѣта не убило газоваго свѣта, но было поводомъ къ еще большему его процвѣтанію въ формѣ ауэровскаго газокалильнаго свѣта.

Съ ацетиленовымъ свѣтомъ возникъ электрическому свѣту серьезный конкурентъ, который по своей яркости и бѣлизнѣ превосходитъ по крайней мѣрѣ калильную лампочку.

За этими обогащеніями въ области газоваго свѣта слѣдовали важныя успѣхи въ электротехникѣ: нернстская лампа, лампа изъ осмія и новая дуговая лампа. Но сколько бы еще новыхъ способовъ освѣщенія ни изобрѣтали, каждый изъ нихъ будетъ мирно уживаться рядомъ съ прежнимъ и побуждать одинъ другого къ дальнѣйшему усовершенствованію.

Каждый способъ освѣщенія имѣетъ свои особенности и преимущества, оправдывающія его существованіе. Поэтому не легко сравнивать достоинства различныхъ способовъ освѣщенія; въ послѣднее время это дѣлаютъ очень односторонне и значеніе даннаго источника свѣта опредѣляютъ цѣною его каждой свѣчи такимъ образомъ фотометрія играетъ роль верховнаго судьи въ этомъ вопросѣ.

2. *Единица свѣта.* Не останавливаясь на описаніи всѣмъ извѣстныхъ фотометровъ, упомянемъ только объ единицѣ свѣта. За таковую, для техническихъ цѣлей, въ Германіи принята лампа Гефнера, въ которой горитъ амильацетатъ пламенемъ въ 4 cm. высоты. Свѣтъ, испускаемый этою лампою по горизонтальному направленію, называется „нормальнымъ свѣтомъ" и имѣетъ яркость „гефнеровской свѣчи" (НК).

Если при помощи фотометра яркость даннаго источника сравниваютъ съ яркостью гефнеровской лампы, то мы можемъ первую выразить числомъ гефнеровскихъ свѣчей.

3. *Употребительнѣйшіе источники свѣта.* Если кромѣ яркости источника извѣстна еще стоимость одного часа горѣнія, то мы имѣемъ мѣру для экономической оцѣнки этого источника.

Въ слѣдующей таблицѣ указана стоимость свѣта въ одну гефнеровскую свѣчу и въ часъ различныхъ нынѣ употребитель-

ныхъ источниковъ. Послѣдніе расположены здѣсь по возростающей стоимости, если принять существующія въ Берлинѣ цѣны на матеріалы.

Источникъ свѣта	1 НК въ часъ	
	Расходъ	Цѣна въ пфен.
1. Газовый калильный свѣтъ	2*l*	0·02
2. Бремеровскій свѣтъ. . .	0·4 уат. час.	0·02
3. Керосиновый кал. свѣтъ.	1·3 gr.	0·03
4. Дуговая лампа	1 у. ч.	0·05
5. Ацетилен. калильн. свѣтъ.	0·4*l*	0·06
6. Керосинъ.	3 gr.	0·07
7. Спиртовой кал. свѣтъ. .	2·5 gr.	0·09
8. Лампа Нернста	2 у.-ч.	0·10
9. Ацетиленовый свѣтъ . .	1*l*	0·15
10. Калильная лампочка . .	3 у.-ч.	0·17
11. Газовый свѣтъ	13*l*	0·17

4. *Два класса источниковъ свѣта.* Всѣ источники свѣта можно раздѣлить на два класса: 1) на источники, въ которыхъ свѣтъ развивается вслѣдствіе сильнаго нагрѣванія тѣла (температурное свѣченіе), и 2) на такіе, которые уже при сравнительно низкой температурѣ вызываютъ въ глазѣ свѣтовое ощущеніе (луминесценція, холодное свѣченіе).

Хотя я главнымъ образомъ займусь температурнымъ свѣченіемъ, которое почти исключительно одно лежитъ въ основаніи современной техники, но я не могу обойти молчаніемъ „холодныхъ источниковъ свѣта", хотя бы уже потому, что они указываютъ намъ путь, на которомъ мы должны искать „свѣтъ будущаго", и по которому отчасти пошла уже техника (новѣйшая „цвѣтная" дуговая лампа).

5. *Луминесценція.* Характерные представители этого холоднаго свѣченія суть свѣтящіеся жучки или тѣ блуждающіе огни, о которыхъ говорится въ сказкахъ. И свѣченіе моря относится

къ той же категоріи явленій; кто не видѣлъ этого чуднаго явленія, тотъ не можетъ составить себѣ о немъ понятія. Когда опустится ночь и въ небесномъ сводѣ выступятъ звѣзды, тогда въ морѣ то тамъ, то здѣсь вспыхиваютъ яркія искорки, которыя умножаются и передвигаются, иногда собираясь въ бѣлый клубокъ. Свѣченіе моря также обусловливается живыми существами: милліарды инфузорій собираютъ свой блѣдный свѣтъ въ яркое сіяніе. Причина этого явленія столь же непонятна, какъ свѣченіе гніющаго дерева или то свѣченіе, которое сопровождаетъ X-лучи — я разумѣю свѣченіе газа въ гейслеровскихъ трубкахъ.

Если токъ, даваемый румкорфовскимъ индукторомъ, пропустить чрезъ гейслеровскую трубку, то оставшійся въ ней воздухъ засвѣчивается синевато-фіолетовымъ свѣтомъ. Трогая трубку рукою, можно убѣдиться, что ея температура очень невысока. Слоистость свѣтящагося облачка внутри трубки есть наглядный признакъ того, что тамъ остался разрѣженный газъ. Въ этой другой трубкѣ свѣтится и помѣщенное внутри урановое стекло; говорятъ, что стекло флуоресцируетъ; это послѣднее явленіе — флуоресценція — намъ также совершенно непонятно.

Если изъ гейслеровской трубки все болѣе выкачивать воздухъ, то слоистость дѣлается менѣе замѣтною и свѣченіе газа наконецъ прекращается, но за-то возникаетъ новое явленіе: изъ катода выходятъ особые лучи (катодные лучи); это не свѣтящіе лучи, но ихъ можно замѣтить, по флуоресценціи тѣлъ, на которыя они падаютъ. Въ этой трубкѣ флуоресцируетъ азбестъ, помѣщенный на пути катодныхъ лучей; въ другой трубкѣ флуоресцируетъ то мѣсто стеклянной оболочки, на которое падаютъ катодные лучи.

Изъ флуоресцирующаго мѣста стеклянной оболочки выходятъ, какъ извѣстно, рёнтгеновскіе лучи, которые въ свою очередь вызываютъ флуоресценцію различныхъ веществъ. Экранъ, покрытый ціанисто-платиновымъ баріемъ и помѣщенный передъ рёнтгеновскою трубкою, очень ярко флуоресцируетъ. Если между трубкою и экраномъ помѣстить деревянную доску въ 10 cm. толщины со свинцовымъ крестомъ на ней, то на экранѣ видна тѣнь отъ креста, тогда какъ сама доска, оказывается совершенно прозрачною.

Во всѣхъ этихъ опытахъ мы проводили токъ румкорфовскаго индуктора внутрь разрядной трубки при помощи метал-

лическихъ электродовъ. Если же пользоваться перемѣнными токами большой повторяемости, такъ называемыми „электрическими колебаніями“, получаемыми напр. при разрядѣ лейденской банки чрезъ проволоку, то гейслеровская трубка свѣтится даже тогда, когда ее только приблизить къ проволокѣ, не соединяя съ нею металлически. Подобные опыты, сдѣланные въ большихъ размѣрахъ впервые Николою Тесла, прославили его имя.

Замѣтимъ, что при свѣченіи, вызываемомъ электрическими колебаніями, почти вся затрачиваемая электрическая энергія превращается въ свѣтъ. Опыты Эберта показали, что при этомъ одна милліонная уатта можетъ дать свѣтъ 1/40 гефнеровской свѣчи, при чемъ затрачиваемая энергія въ 2000 разъ меньше, чѣмъ въ гефнеровской лампѣ. Тутъ мы приближаемся къ идеалу искуственнаго освѣщенія; но пройдетъ еще не мало времени, пока „луминесцирующая лампа“ будетъ конкурировать съ употребляемыми теперь источниками свѣта.

6. *Свѣченіе вслѣдствіе нагрѣванія (температурное лучеиспусканіе).* Въ употребительныхъ источникахъ свѣта—въ пламени и въ электрическихъ лампахъ—свѣтящіе лучи испускаются вслѣдствіе сильнаго нагрѣванія твердыхъ тѣлъ. Это лучеиспусканіе, названное Р. Гельмгольцомъ *температурнымъ*, противополагается *луминесценціи*, какъ Э. Видеманъ назвалъ то лучеиспусканіе, въ которомъ температура играетъ лишь второстепенную роль.

Въ противоположность луминесценціи температурное свѣченіе сопровождается всегда значительнымъ выдѣленіемъ тепловыхъ лучей, которые для цѣлей освѣщенія ненужны и значительно увеличиваютъ его стоимость.

Эффектъ освѣщенія при температурномъ лучеиспусканіи обусловливается двумя факторами: свойствами накаливаемаго вещества и температурою, до которой его нагрѣваютъ. Свѣтовой эффектъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ выше температура каленія; при одинакихъ температурахъ наибольшую экономію представляетъ накаливаніе того тѣла, для котораго отношеніе напряженія свѣтящихъ лучей къ напряженію несвѣтящихъ лучей есть maximum.

Прежде, чѣмъ говорить о томъ, какъ можно достичь этой цѣли освѣтительной техники, обратимся къ вопросу о способахъ полученія высокихъ температуръ. При этомъ мы должны различать *свободно горящее пламя* (пламя свѣчи, керосиновой лампы, свѣтильнаго газа, ацетилена и т. д.) отъ *электрическихъ лампъ*

(калильной, дуговой, нернстовской, осміевой) по тому способу, которымъ свѣтящее вещество накаливается.

а) *Развитіе тепла въ пламени вслѣдствіе горѣнія.* Переходъ отъ свѣченія при низкой температурѣ къ свѣченію при высокой температурѣ представляетъ то слабое свѣченіе, напр. фосфора, которое замѣтно вь темнотѣ, когда сгораемое вещество окисляется, хотя и не горитъ въ строгомъ смыслѣ этого слова. Окисленіе и горѣніе въ сущности тождественные процессы: какъ при томъ, такъ и при другомъ горючее вещество соединяется съ кислородомъ; но тогда какъ окисленіе происходитъ уже при сравнительно низкой температурѣ, воспламененіе и горѣніе происходятъ лишь при высокихъ температурахъ.

Развитіе тепла и свѣта въ пламени есть слѣдствіе окисленія при высокой температурѣ или горѣнія, т. е. соединенія какого-нибудь вещества съ кислородомъ.

Тѣла, которыя, какъ напр. камни, не способны соединяться съ кислородомъ, не могутъ и горѣть; напротивъ того углеродъ и водородъ, а также ихъ соединенія жадно соединяются съ кислородомъ; гдѣ эти элементы встрѣчаются другъ съ другомъ, тамъ происходитъ горѣніе.

Если сгораетъ чистый водородъ, то получается водяной паръ—соединеніе водорода съ кислородомъ; если сгораетъ чистый углеродъ, то получается углекислота, а при маломъ доступѣ кислорода—окись углерода.

Оба процесса—сгораніе водорода въ водяной паръ и сгораніе углерода въ углекислоту—происходятъ одновременно во всякомъ свободно горящемъ пламени, гдѣ углеводороды (т. е. химическія соединенія водорода и углерода) соединяются съ кислородомъ.

Масло, жиръ, сало, стеаринъ, воскъ, дерево, каменный уголь и т. д. состоятъ главнымъ образомъ изъ углеводородовъ и потому способны горѣть. Горѣніе углеводорода даетъ жаръ, при чемъ неуспѣвающій сгорѣть уголь раскаляется и обусловливаетъ „яркость" свѣтящаго пламени. Безъ присутствія твердыхъ еще не сгорѣвшихъ частицъ угля пламя вообще не можетъ свѣтить. Это легко доказать опытомъ. Здѣсь вы видите обыкновенное свѣтящее газовое пламя; если же газъ предварительно смѣшать съ воздухомъ или кислородомъ, то свѣченіе прекращается, ибо теперь всѣ частицы углерода свѣтильнаго газа сгораютъ въ углекислоту, которая даже при самомъ сильномъ нагрѣваніи

не способна испускать свѣтящихъ лучей. Такимъ образомъ свѣтильный газъ свѣтитъ лишь при недостаточномъ притокѣ воздуха.

Когда лампа „коптитъ", то фитиль слишкомъ великъ, и развивается больше газа, чѣмъ бы слѣдовало для притекающаго воздуха; вслѣдствіе этого поднимаются облака копоти. Эта копоть есть не что иное, какъ не сгорѣвшій углеродъ, который выдѣляется при нагрѣваніи изъ углеводорода.

Слѣдствіемъ сгоранія всего углерода, заключающагося въ свѣтильномъ газѣ, является повышеніе температуры пламени, пока тамъ нѣтъ никакого нагрѣваемаго баласта, какъ въ свѣтящемъ газѣ.

Несвѣтящее пламя можно обратить въ свѣтящее, вводя въ него несгорающія вещества и пользуясь его высокою температурою. Если тонкую платиновую пластинку ввести въ несвѣтящее пламя бунзеновской горѣлки, то отдѣляется свѣтъ; если платиновую пластинку внести въ еще болѣе горячее пламя гремучаго газа, то она до-бѣла накаляется и плавится; если платину замѣнить не плавящимся тѣломъ, напр. известью, мѣломъ или магнезіею, то получается столько свѣта, что вся зала освѣщается.

Яркость обыкновеннаго свѣтильнаго газа далеко не достигаетъ той, которую мы наблюдаемъ въ твердомъ тѣлѣ, раскаляемомъ до возможно высокой температуры. Поэтому было большимъ успѣхомъ въ освѣтительной техникѣ, когда Ауэру удалось достичь болѣе яркаго свѣта введеніемъ въ очень горячее, но несвѣтящее пламя бунзеновской горѣлки названнаго по его имени „чулка" изъ несгораемаго вещества (окиси торія).

Недавно въ технику введенъ „ацетиленовый свѣтъ"; онъ получается тоже отъ сжиганія углеводорода, при чемъ самый свѣтъ опять обусловливается несгорающими частицами угля, нагрѣвающимися до температуры, не достигаемой въ обыкновенномъ свѣтильномъ газѣ. Этимъ послѣднимъ обстоятельствомъ объясняется большая яркость ацетиленоваго свѣта.

Однимъ свойствомъ ацетиленъ отличается отъ другихъ свѣтильныхъ газовъ. Тогда какъ смѣшанные съ воздухомъ горючіе газы взрываютъ только отъ искры, ацетиленъ можетъ взрывать и безъ воспламененія, если только онъ находится подъ достаточнымъ давленіемъ (въ нѣсколько атмосферъ). Этотъ газъ представляетъ собою очень непрочное химическое соединеніе угле-

рода съ водородомъ, которое при первой возможности разлагается, при чемъ происходитъ взрывъ.

b) *Сущность электрическаго свѣченія.* Какъ въ свободномъ пламени, такъ и въ обыкновенныхъ электрическихъ лампахъ накаливается уголь; только способъ накаливанія иной. Въ калильныхъ лампочкахъ электрическій токъ проходитъ по угольной нити и нагрѣваетъ ее; въ дуговой лампѣ электричество проходитъ по воздуху между двумя углями и здѣсь образуетъ свѣтящую дугу, а концы углей накаливаетъ.

Эти электрическія лампы слѣд. подобны обыкновеннымъ лампамъ въ томъ отношеніи, что и въ нихъ источникомъ свѣта служитъ раскаленный уголь. Но, тогда какъ въ пламени и въ газокалильной лампѣ сжигаемый газъ употребляется непосредственно для нагрѣванія угля или раскаливаемаго тѣла, въ электрическихъ лампахъ тепловая способность каменнаго угля идетъ сначала на образованіе пара или газа, приводящихъ въ дѣйствіе двигатель, который въ свою очередь вращаетъ динамомашину.

Надо надѣяться, что со временемъ удастся упростить этотъ процессъ и мы сумѣемъ каменный уголь непосредственно превращать въ электрическую энергію; при теперешнемъ процессѣ слишкомъ много энергіи теряется даромъ.

Зато этотъ сложный процессъ даетъ самый *яркій* свѣтъ. При этомъ процессѣ въ комнату приводится только та энергія, которая безусловно необходима для нагрѣванія угольной нити, тогда какъ вредные продукты горѣнія каменнаго угля, керосина, газа и т. д. остаются въ центральной станціи. Энергія, приводимая къ углю электрической лампы, испускается имъ въ видѣ свѣтящихъ и несвѣтящихъ лучей.

Газовое пламя (въ обширномъ смыслѣ этого слова) требуетъ гораздо больше тепла. Отъ него отдѣляется непрерывный токъ сгорѣвшаго газа. Поэтому понятно почему пламя такъ сильно грѣетъ. И еще была бы эта теплота, испускаемая раскаленнымъ тѣломъ! Но это теплота сгорѣвшаго углеводороднаго газа, получающаяся на счетъ кислорода воздуха, который при этомъ замѣняется другими, часто вредными газами (углекислотою, окисью углерода, дву-окисью сѣры).

Хотя, вслѣдствіе непрерывнаго пользованія тепловою способностью топлива, электрическій свѣтъ обходится дороже газокалильнаго, но онъ имѣетъ другія неоспоримыя преимущества;

онъ безвреденъ для здоровья и не можетъ вызвать взрыва; способъ зажиганія электрическихъ лампъ чрезвычайно простъ.

Къ прежнимъ электрическимъ лампамъ съ углями теперь прибавились новыя: нернстовская, осміевая и цвѣтная дуговая. Въ нернстовской лампѣ накаливается проводникъ второго класса (т. е. изоляторъ, какъ фарфоръ, стекло и т. д.), который лишь при бѣломъ каленіи пропускаетъ чрезъ себя токъ. Вслѣдствіе этого раскаливаемое тѣло нернстовской лампы должно быть зажжено „спичкою", т. е. предварительно нагрѣто. Теперь эти лампы устраиваютъ такъ, что самъ токъ производитъ это нагрѣваніе и затѣмъ автоматически исключается.

Въ лампѣ Ауэра накаливается тугоплавкій металлъ осмій, помѣщенный въ безвоздушное пространство. На этой распредѣлительной доскѣ вы видите три ауэровскихъ лампочки и три обыкновенныхъ калильныхъ лампочки, горящихъ при 110 volt; но амперметры, помѣщенные на доскѣ, показываютъ, что ауэровскія лампочки питаются 1·8 amp., а калильныя—3·8 amp.; не смотря на такое различіе въ употребленіи тока, и тѣ и другіе лампочки горятъ одинаково ярко.

Новѣйшія *цвѣтныя* дуговыя лампы отличаются отъ обыкновенныхъ только тѣмъ, что ихъ угли пропитаны окисью барія или стронція, которыя въ дугѣ испаряются и, будучи въ видѣ пара, испускаютъ цвѣтные свѣтящіе лучи, которые даютъ прерывный спектръ. Въ этихъ лампахъ свѣтятъ не только угли, но и находящіеся въ вольтовой дугѣ пары тѣхъ веществъ, которыми напитаны эти угли. Вслѣдствіе этого при остальныхъ равныхъ условіяхъ свѣтъ цвѣтной дуговой лампы ярче, чѣмъ обыкновенной.

Наконецъ упомянемъ лампу Аронса; въ ней электродами служитъ ртуть и въ дугѣ свѣтятъ пары ртути.

7. Теперь мы подошли къ главной части нашей темы—выяснить задачу освѣтительной техники, основываясь на вновь установленныхъ законахъ лучеиспусканія. Мы будемъ въ состояніи это сдѣлать, когда для каждаго источника свѣта опредѣлимъ температуру и отношеніе полезнаго лучеиспусканія къ полному лучеиспусканію. Для этого надо установить связь лучеиспусканія съ температурою и длиною волны. Только тогда мы можемъ опредѣлить физическое значеніе различныхъ источниковъ свѣта, указать ихъ экономичность и цѣну каждой свѣчи ихъ яркости.

Но здѣсь намъ приходится начать издалека. Сначала выяснимъ себѣ различіе между тепломъ и свѣтомъ и познакомимся со способами измѣренія лучеиспусканія.

8. *Свѣтящіе и несвѣтящіе лучи.* Помимо глазъ нѣтъ свѣтоваго ощущенія. Если закрыть глаза, то исчезаетъ прелесть красокъ природы, разнообразіе формъ, свѣтъ и тѣни: все погружается въ непроглядный мракъ; сами мы лишаемся вѣрнаго руководства далеко проникающимъ взглядомъ и принуждены довольствоваться осязаніемъ. Свѣтъ только тамъ, гдѣ мы смотримъ.

Но источникъ свѣта, какъ напр. солнце, возбуждаетъ не одинъ только зрительный нервъ; попадая на руку, солнечный лучъ вызываетъ ощущеніе тепла; этотъ же лучъ вызываетъ въ глазѣ ощущеніе свѣта и разлагаетъ серебряную соль въ чувствительной пластинкѣ. Поэтому иногда говорятъ о „тепловыхъ", „свѣтящихъ" и „химическихъ" лучахъ, соотвѣтственно указаннымъ тремъ дѣйствіямъ ихъ, хотя всѣ эти три рода лучей суть колебанія одного и того же эѳира.

Ньютонъ и его послѣдователи думали, что изъ свѣтящаго тѣла истекаетъ особаго рода неосязаемое вещество.

Принятая теперь гипотеза Гюйгенса говоритъ, что свѣтящее тѣло испускаетъ волны эѳира, которымъ наполненъ весь міръ, какъ „пустое пространство", такъ и всякое матеріальное тѣло. Въ этомъ эѳирѣ, какъ въ безпредѣльномъ океанѣ, происходятъ всѣ явленія природы.

Какъ бы различны ни были дѣйствія волнъ, исходящихъ изъ источника свѣта, объективно онѣ различаются только своею длиною. Для раздѣленія волнъ различныхъ длинъ, я пропускаю свѣтъ чрезъ стеклянную призму. Вы видите на экранѣ разноцвѣтную полосу, напоминающую вамъ радугу. Каждая поперечная линія этой разноцвѣтной полосы, называемой „спектромъ", освѣщается волнами опредѣленной длины, которая возростаетъ отъ синяго конца къ красному. Но этотъ „видимый" спектръ соотвѣтствуетъ лишь малой части всѣхъ тѣхъ волнъ, которыя выдѣляетъ источникъ свѣта. Какъ лѣвѣе краснаго конца, такъ и правѣе фіолетоваго конца на экранъ падаютъ эѳирныя волны. При этомъ невидимая часть спектра во много разъ превосходитъ видимую; инфракрасная часть въ 40 разъ длиннѣе видимой! Инфракрасная часть спектра не видна глазу, но ея существованіе можетъ быть обнаружено чувствительнымъ термометромъ.

Когда въ 1800 г. Гершель при помощи чувствительнаго термометра (резервуаръ котораго былъ закопченъ) впервые обнаружилъ эти „новаго рода солнечные лучи", ученый міръ взволновался не менѣе того, какъ въ наше время онъ былъ взволнованъ открытіемъ Рёнтгеномъ X-лучей. Послѣ горячаго спора, рѣшившаго дѣло въ пользу Гершеля, прошло еще нѣсколько десятковъ лѣтъ, пока многочисленными опытами не было установлено, что эти новые несвѣтящіе лучи, вызывающіе особыя субъективныя ощущенія, объективно ничѣмъ не отличаются отъ свѣтящихъ.

Съ другой стороны при помощи фотографіи было обнаружено существованіе „ультрафіолетовыхъ" лучей, образующихъ ту невидимую часть спектра, которая расположена за фіолетовымъ концомъ видимой его части; эти лучи были названы „химическими". Но мы должны твердо помнить, что всѣ эти лучи, начиная отъ химическихъ съ быстрыми колебаніями и кончая тепловыми съ медленными колебаніями, суть волны эѳира, несущія съ собою извѣстное количество энергіи, которая, падая на термометръ, превращается въ теплоту. Въ этомъ смыслѣ всѣ высылаемые свѣтящимъ тѣломъ лучи суть тепловые лучи; только энергія фіолетовыхъ и ультра-фіолетовыхъ лучей незначительна сравнительно съ энергіею красныхъ и инфракрасныхъ лучей.

Теперь мы привыкли къ мысли, что свѣтящіе и несвѣтящіе лучи различаются лишь длиною своихъ волнъ и распространяемою ими энергіею; но въ прежнее время не хотѣли вѣрить, чтобы свѣтъ и теплота, вызывающія столь различныя по *качеству* ощущенія, различались бы между собою лишь количественно.

Нашъ глазъ чувствителенъ только къ тѣмъ волнамъ, длина коихъ лежитъ въ предѣлахъ отъ 4 до 8 десятитысячныхъ миллиметра; зато природа наградила глазъ такою чувствительностью къ „свѣтящимъ" лучамъ, до которой далеко нашимъ приборамъ. Какъ ярко представляется намъ пламя свѣчи, а между тѣмъ лучеиспусканіе его столь ничтожно, что энергію, попадающую отъ него въ глазъ (который помѣщенъ въ разстояніи 1 m.), слѣдовало бы собирать въ теченіе года, чтобы нагрѣть 1 gr. воды на 1° Ц. Только самые чувствительные болометры могутъ еще обнаруживать такую энергію.

9. *Опытное доказательство теплового лучеиспусканія.* Послѣ сдѣланныхъ замѣчаній мы должны различать объективно существующую энергію и субъективно ощущаемый свѣтъ. Я сдѣлаю

опытъ, который докажетъ, что тѣло раньше, чѣмъ начинаетъ свѣтить, испускаетъ энергію въ видѣ лучей. Для этого я воспользуюсь этою платиновою пластинкою, чрезъ которую пропускаю токъ; при 80 amp. она накаляется до бѣла. Ослабляю токъ настолько, чтобы пластинка не свѣтила; все-таки она высылаетъ энергію, ибо приближенная рука ощущаетъ теплоту. Для демонстрированія лучеиспусканія я заставляю лучи падать на термоэлектрическій столбикъ, соединенный съ гальванометромъ; столбикъ поглощаетъ падающіе на него лучи и ихъ энергію превращаетъ въ электрическій токъ, который, проходя по гальванометру, отклоняетъ его магнитную стрѣлку; по этому отклоненію магнитной стрѣлки мы можемъ судить о напряженіи испускаемыхъ платиною лучей.

Сначала термоэлектрическій столбикъ накрытъ крышкою, которая не пропускаетъ лучей; вы видите, что магнитная стрѣлка не отклоняется. Когда же я снимаю крышку, стрѣлка отклоняется и при томъ тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе нагрѣта платина. Хотя платина все еще не свѣтитъ, но указатель перемѣстился до конца шкалы. Если термоэлектрическій столбикъ закрыть, то указатель возвращается назадъ; это доказываетъ, что дѣйствительно энергія высылалась несвѣтящею платиною.

10. *Раздѣленіе свѣтящихъ и несвѣтящихъ лучей.* Тѣмъ же расположеніемъ приборовъ можно воспользоваться для испытанія различныхъ тѣлъ въ отношеніи ихъ теплопрозрачности. Лучи несвѣтящей платины я заставляю падать на термоэлектрическій столбикъ, при чемъ указатель гальванометра отклоняется до конца шкалы; затѣмъ на пути этихъ лучей я помѣщаю различныя тѣла. Сначала ставлю кусокъ каменной соли, при чемъ указатель едва перемѣщается назадъ; если же каменную соль замѣнить стеклянною пластинкою, то указатель значительно возвращается назадъ, хотя все-таки немного отклоненъ; но если между термоэлектрическимъ столбикомъ и нагрѣтою платиною помѣстить сосудъ съ водою, то указатель возвращается въ свое начальное положеніе; отсюда слѣдуетъ, что вода вполнѣ поглощаетъ всю лучистую теплоту, испускаемую платиною.

Слѣд. вода и стекло почти столь же нетеплопрозрачны, какъ металлическая ширма, и раздѣляютъ такимъ образомъ свѣтящіе и несвѣтящіе лучи, пропуская первые и не пропуская вторые. Этимъ замѣчательнымъ свойствомъ стекла мы пользуемся при устройствѣ оконъ. Точные опыты показали, что вода поглощаетъ

всѣ лучи, волны коихъ длиннѣе 1μ, а стекло—всѣ лучи, волны коихъ длиннѣе 3μ.

Для нашихъ цѣлей надо прослѣдить лучеиспусканіе различныхъ тѣлъ, измѣряя его для каждой длины волны; но тогда для образованія спектра нельзя пользоваться ни стекломъ, ни водою; даже каменная соль неудобна, такъ какъ и она не вполнѣ прозрачна, да къ тому же гигроскопична; для этой цѣли особенно удобны плавиковый шпатъ и сильвинъ, вещества не гигроскопичныя и прозрачныя—первое до 12μ, второе до 19 μ.

Въ послѣднее время удалось изслѣдовать лучи, длина волны коихъ около 50 μ, т. е. въ сто разъ длиннѣе, чѣмъ желтыхъ лучей (0·5 μ). Эти волны ближе подходятъ къ „электрическимъ" волнамъ (2·5 mm. длины), чѣмъ къ кратчайшимъ свѣтящимъ волнамъ (0·4 μ).

11. *Законъ Кирхгоффа.* Съ повышеніемъ температуры тѣло раскаляется; спектральное изслѣдованіе испускаемаго имъ свѣта показываетъ, что къ длиннымъ краснымъ волнамъ послѣдовательно прибавляются болѣе короткія волны—желтыя, зеленыя и синіи, которыя всѣ вмѣстѣ даютъ бѣлый свѣтъ. Хотя давно было извѣстно, что яркость раскаленнаго тѣла возростаетъ вмѣстѣ съ температурою и что спектральное распредѣленіе энергіи измѣняется съ возростаніемъ температуры, такъ что яркость короткихъ волнъ (фіолетовыхъ) возростаетъ быстрѣе, чѣмъ длинныхъ (красныхъ), но для опредѣленія характера лучеиспусканія различныхъ твердыхъ тѣлъ требовались точныя измѣренія. Эту задачу теоріи лучеиспусканія можно будетъ считать рѣшенною, когда для каждаго тѣла будетъ найдено, какъ при данной температурѣ источника энергія измѣняется отъ одного луча до другого и какъ для каждаго луча она измѣняется отъ одной температуры до другой. Эта задача столь обширна, что путемъ опыта ее никогда бы не пришлось рѣшить, если бы не были найдены нѣкоторые общіе законы. Первый изъ нихъ законъ Кирхгоффа состоитъ въ томъ, что *при всякой температурѣ данное тѣло преимущественно испускаетъ тѣ лучи, которые оно поглощаетъ.*

Распространяя этотъ законъ на тѣла, которыя—вслѣдствіе повышенія температуры—свѣтятъ, можно сказать, что при данной температурѣ не свѣтятъ тѣ тѣла, которыя не поглощаютъ лучей, а лишь пропускаютъ ихъ чрезъ себя или отражаютъ. Вотъ почему прозрачное пламя бунзеновской горѣлки или гремучаго газа, не смотря на свою высокую температуру, не свѣ-

титъ, тогда какъ сильно поглощающій уголь уже при сравнительно низкой температурѣ испускаетъ бѣлый свѣтъ, т. е. лучи всѣхъ сортовъ.

Далѣе изъ нашего закона слѣдуетъ, что если тѣло поглощаетъ лучи лишь опредѣленныхъ сортовъ, то, будучи накалено, оно испускаетъ лучи этихъ же сортовъ. Дѣйствительно нѣкоторые газы и пары испускаютъ лучи только немногихъ сортовъ, и потому кажутся окрашенными. Этимъ объясняется цвѣтъ бенгальскихъ огней или окрашиваніе несвѣтящаго бунзеновскаго пламени въ желтый цвѣтъ металлическимъ натріемъ; послѣднее испускаетъ лучи, длина волны которыхъ 0·589 μ; по закону Кирхгоффа оно должно поглощать преимущественно эти же лучи и пропускать всѣ другіе. Если на пути бѣлыхъ лучей, пропускаемыхъ чрезъ призму, поставить натріевое пламя, то въ желтой части спектра появляется черная линія: слѣд. желтые лучи, попадавшія прежде сюда, теперь поглощены натріевымъ пламенемъ.

Изъ положенія, занимаемаго въ спектрѣ линіею поглощенія, можно заключить о сортѣ лучей, испускаемыхъ при той же температурѣ поглощающимъ тѣломъ. Это тождество ведетъ къ тому, что по фраунгоферовскимъ линіямъ заключаютъ о веществахъ свѣтящихъ на солнцѣ и принимаютъ, что солнце состоитъ изъ раскаленнаго бѣлаго тѣла, окруженнаго раскаленными парами земныхъ веществъ. Если въ солнечной фотосферѣ находится напр. натрій въ видѣ пара, то желтые лучи солнечнаго ядра, проходя чрезъ паръ натрія, должны ослабиться, и въ томъ же мѣстѣ солнечнаго спектра ($\lambda = 0{\cdot}589\ \mu$) должна образоваться темная линія, какъ и въ нашемъ опытѣ. Это дѣйствительно такъ и есть. Задачею спектральнаго анализа было отождествить различныя темныя линіи солнечнаго спектра съ свѣтлыми линіями земныхъ веществъ и такимъ образомъ найти свѣтящія на солнцѣ вещества. Теперь мы знаемъ, что въ солнечной атмосферѣ находятся почти всѣ земныя вещества (въ газообразномъ состояніи); при этомъ слѣдуетъ предполагать, что солнечное ядро раскалено сильнѣе, чѣмъ окружающіе его пары.

Я сказалъ „предполагать“, ибо при оцѣнкѣ температуръ изъ обращенія спектральныхъ линій слѣдуетъ быть крайне осторожнымъ. Съ помощью закона Кирхгоффа можно сдѣлать заключеніе о температурѣ цвѣтного пламени, обращающаго лучи источника, только въ томъ случаѣ, когда лучеиспусканіе есть чисто-температурное и не сопровождается луминесценціею. Но изъ опытовъ

Прингсгейма слѣдуетъ, что свѣченіе паровъ и газовъ, дающихъ линейчатые спектры, скорѣе есть луминесценція, чѣмъ температурное лучеиспусканіе. Съ другой стороны изслѣдованіе строенія спектральныхъ линій показываетъ, что послѣднія состоятъ изъ большого числа тонкихъ линій; чѣмъ однороднѣе (болѣе монохроматично) лучеиспусканіе, тѣмъ болѣе оно уклоняется отъ чисто-температурнаго, къ которому только и примѣняется законъ Кирхгоффа. Поэтому изъ яркости линій спектра звѣзды нельзя заключать о температурѣ послѣдней, какъ это неоднократно думали дѣлать. Такимъ образомъ по теперешнимъ нашимъ воззрѣніямъ именно къ той области, въ которой законъ Кирхгоффа далъ самые блестящіе результаты, онъ не можетъ быть количественно примѣненъ. Тѣмъ большее значеніе этотъ законъ имѣетъ нынѣ по отношенію къ чисто-температурному лучеиспусканію, дающему непрерывный спектръ.

12. *Абсолютно-черное тѣло.* Плодотворность закона Кирхгоффа въ спектральномъ анализѣ заставила забыть его историческое значеніе, которое лишь теперь вполнѣ оцѣнено. Прежде всего надо раскрыть внутреннюю связь между различными тѣлами и ихъ отношеніе къ абсолютно-черному тѣлу.

Если E_1, E_2, E_3, ... означаютъ лучеиспускательныя способности тѣлъ 1, 2, 3, ... и A_1, A_2, A_3, ... соотвѣтствующія поглощательныя способности, относящіяся къ одной длинѣ волны и температурѣ, то имѣетъ мѣсто такое соотношеніе:

$$(1) \qquad \frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \cdots = \text{Const},$$

гдѣ подъ поглощательною способностью разумѣется та часть падающей лучистой энергіи, которая дѣйствительно поглощается тѣломъ, а не отражается или пропускается имъ.

Если лучеиспусканіе какого-нибудь тѣла для волны λ обозначится E_λ и его лучепоглощеніе для той же волны и температуры обозначимъ A_λ, то по предыдущему

$$(2) \qquad \frac{E_\lambda}{A_\lambda} = \text{Const},$$

т. е. *отношеніе лучеиспусканія къ лучепоглощенію, отнесенныхъ къ одинакимъ волнамъ и равнымъ температурамъ, одинаковы для всѣхъ тѣлъ.*

Надо еще опредѣлить значеніе постоянной, чтобы установить соотношеніе всѣхъ тѣлъ къ абсолютно-черному тѣлу. Это послѣднее Кирхгоффъ опредѣляетъ какъ такое, которое совершенно поглощаетъ всѣ падающіе на него лучи и слѣд. не отражаетъ и не пропускаетъ никакихъ лучей. Если для абсолютно-чернаго тѣла обозначимъ чрезъ S_λ лучеиспусканіе волнъ длины λ, а для какого-нибудь тѣла той же температуры чрезъ E_λ и A_λ—лучеиспусканіе и лучепоглощеніе той же волны, то по закону Кирхгоффа

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = S_\lambda . \tag{3}$$

Итакъ законъ Кирхгоффа говоритъ, что E_λ/A_λ не только постоянно для всѣхъ тѣлъ, но что это постоянное равно лучеиспусканію чернаго тѣла для той же волны и температуры.

Такимъ образомъ лучеиспусканіе всѣхъ тѣлъ, поскольку оно зависитъ отъ температуры, сводится къ лучеиспусканію абсолютно-чернаго тѣла. Если бы послѣднее было извѣстно, то слѣдовало бы еще опредѣлить лучепоглощеніе различныхъ тѣлъ, чтобы ихъ лучеиспусканія стали извѣстны. Кирхгоффъ говоритъ, что законъ лучеиспусканія чернаго тѣла долженъ быть очень простъ, какъ и всякая функція, не зависящая отъ свойствъ отдѣльныхъ тѣлъ; къ этому онъ прибавляетъ, что все значеніе его закона обнаружится лишь послѣ того, какъ лучеиспусканіе чернаго тѣла будетъ найдено изъ опытовъ.

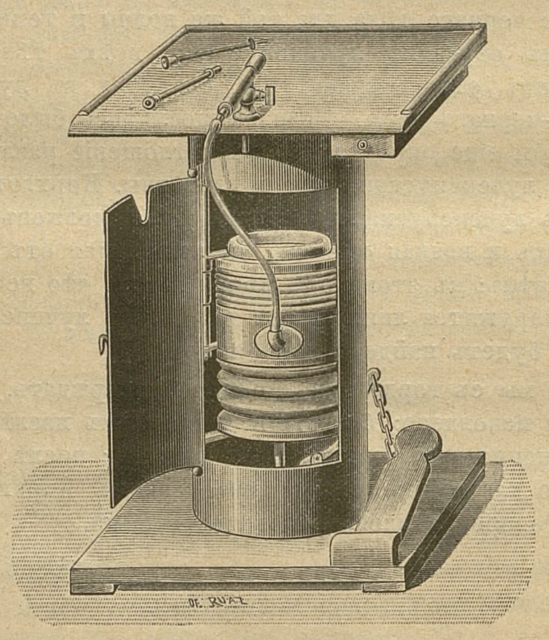
Нынѣ мы съ гордостью можемъ утверждать, что желаніе Кирхгоффа исполнено; благодаря новѣйшимъ изслѣдованіямъ законъ лучеиспусканія чернаго тѣла найденъ; послѣ того, какъ S_λ опредѣлено для всѣхъ температуръ, законъ Кирхгоффа изъ качественнаго превратился въ количественный.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Обработка стекла

Г. Берлемона[1].

Хотя обработка стекла требуетъ большой опытности, но простѣйшіе пріемы этого искуства не особенно трудны и ими очень скоро можно овладѣть. Въ предлагаемой статьѣ читатели найдутъ ясныя указанія, слѣдуя которымъ, они будутъ въ состояніи выполнить все необходимое въ обиходѣ небольшого физическаго кабинета.



фиг. 1.

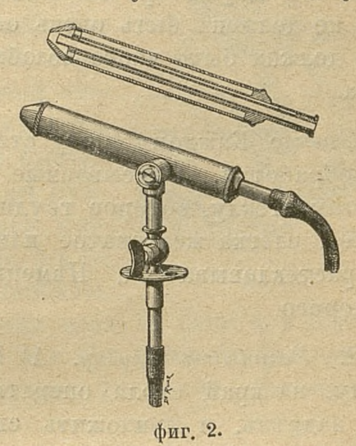
1. *Приборы. Матеріалъ.* Мѣхъ употребляется цилиндрическій (20 cm. діаметра) и приводится въ дѣйствіе ногою (при по-

---

[1]) Travail du verre par *M. Berlemont.* Изъ книги „Recueil d'expériences élémentaires de Physique publié avec la collaboration de nombreux physiciens" par *H. Abraham.* Paris, Gauthier-Villars, 1904. Переводъ съ разрѣшенія автора и издателя.

мощи педали); онъ помѣщается подъ паяльнымъ столомъ (фиг. 1), на которомъ расположены горѣлка и разныя принадлежности.

Горѣлка состоитъ изъ двухъ трубокъ, входящихъ одна въ другую, при чемъ наружная оканчивается усѣченнымъ конусомъ (фиг. 2); свѣтильный газъ приводится въ пространство между трубками, воздухъ вдувается мѣхомъ во внутренній каналъ. Этотъ каналъ образуется металлическою трубочкою, которая вставляется въ другую направляющую трубку; на первую надѣваютъ каучукъ, идущій отъ мѣха и скрѣпляющій одну трубку съ другою. Перемѣщеніемъ внутренней трубки отверстіе для выхода газа можетъ измѣняться отъ 0·1 до 0·4 cm. въ діаметрѣ. При малыхъ отверстіяхъ получается *острое* пламя (совершенно несвѣтящее), при большихъ отверстіяхъ—*широкое* пламя; первое употребляется для спаиванія мелкихъ вещей, второе для выдуванія шаровъ, для сгибанія трубокъ и т. д. Пламя хорошо срегулировано, если при выходѣ изъ горѣлки надъ нимъ не вырывается свѣтящее пламя газа, не смѣшаннаго съ воздухомъ; регулированіе производится измѣненіемъ притока газа и передвиганіемъ внутренней трубки. Если не поддувать, то изъ горѣлки выходитъ *коптящее* пламя[1]).



фиг. 2.

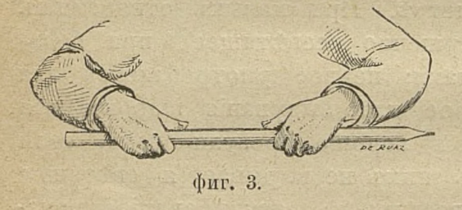
---

[1]) Въ „Руководствѣ къ обработкѣ стекла" Д. Дьяконова и В. Лермантова указанъ слѣдующій способъ замѣны свѣтильнаго газа карбонизованнымъ воздухомъ. Берутъ трехгорлую стклянку или жестянку отъ 2 до 4 литровъ емкости и вставляютъ на пробкахъ въ одно горло трубку 1 cm. діаметра, доходящую до дна, а въ другое такую же короткую трубку, кончающуюся у самой пробки; чрезъ среднее горло сосудъ наполняютъ хорошо просушенными тонкими деревянными стружками и наливаютъ до 2/3 бензина. Вдуваемый въ первую трубку воздухъ насыщается парами бензина и, выходя изъ второй трубки, горитъ, какъ свѣтильный газъ. При употребленіи паяльной горѣлки одинъ и тотъ же мѣхъ можетъ служить для образованія горючей смѣси и для поддуванія пламени: для этого идущій отъ мѣха каучукъ надѣваютъ на стеклянный тройникъ, отъ котораго одинъ каучукъ идетъ къ воздушной трубкѣ горѣлки, а другой къ сосуду съ бензиномъ.

Ножъ для стекла. Ножомъ служитъ стальная пластинка спеціальнаго приготовленія (обыкновенные размѣры 0·15, 4 и 15 cm.); его заостряютъ треніемъ о сухой оселокъ и такимъ образомъ снабжаютъ двумя срѣзами по направленію большаго размѣра. Ножъ не долженъ быть очень острымъ, но его рѣжущая поверхность должна быть часто возобновляема, иначе онъ не „беретъ" стекла.

Стекло. Каждому сорту стекла соотвѣтствуетъ особый способъ обработки. Описываемые ниже пріемы не примѣнимы къ зеленому стеклу, которое трудно плавится. Подходящее стекло —бѣлое, слегка желтоватое или розоватое; оно легко плавится и не растекловывается. Нѣмецкое стекло тоже хорошо, только оно дорого.

2. *Разрѣзать трубку.* А) *Ножомъ.* Въ лѣвую руку взять трубку, на край стола опереть то ея мѣсто, гдѣ хотятъ сдѣлать надрѣзъ, и приложить сверху ноготь большого пальца. Взять ножъ въ правую руку и упереть его въ ноготь, направивъ его плоскость перпендикулярно къ оси трубки; нажать имъ на трубку и проводить всею длиною острія. Когда черта ясно обозначится, взять трубку въ обѣ руки, надрѣзомъ внизъ (фиг. 3); большіе пальцы держать сверху (по одной образующей) въ разстояніяхъ 4 или 5 cm. по ту и другую сторону надрѣза, разставляя локти; надломить трубку. Если трубка сопротивляется, углубить надрѣзъ.



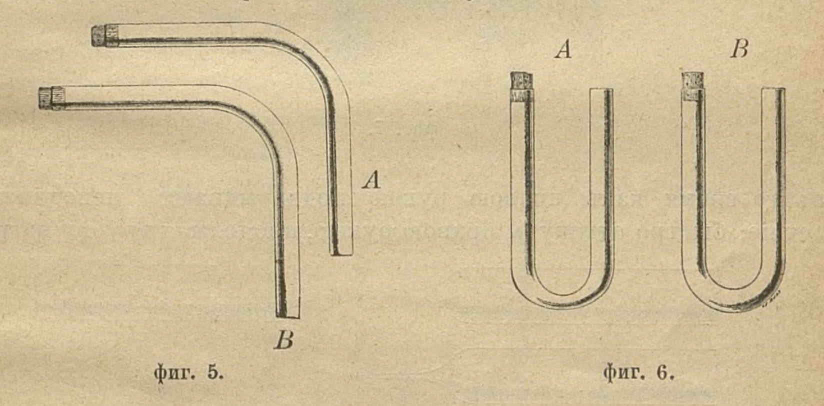
Фиг. 3.

В) *Каплею стекла.* Приготовить стеклянное остріе въ 0·2 cm. діаметра и, расплавивъ его кончикъ, приложить къ началу надрѣза, сдѣланному ножомъ. Образуется трещина. Расплавленный кончикъ острія приложить къ новому мѣсту надрѣза, нѣсколько миллиметровъ дальше; образуется новая трещинка, сливающаяся съ прежнею; продолжать, пока не будетъ обойдена вся трубка кругомъ. Расплавленный кончикъ острія не слѣдуетъ прижимать къ трубкѣ слишкомъ сильно, иначе можетъ образоваться трещина помимо надрѣза.

3. *Согнуть широкую трубку* (Большое пламя). Держать трубку горизонтально, въ обѣихъ рукахъ; нагрѣть трубку, вертя ее между пальцами и передвигая вдоль оси, взадъ и впередъ, такъ чтобы нагрѣтая часть имѣла длину 5 или 6 cm. (см. фиг. 7). Когда трубка настолько нагрѣется, что можетъ согнуться, перестать вертѣть и нагрѣть съ одной стороны. Когда эта сторона покраснѣетъ, удалить трубку изъ пламени и быстро согнуть, чтобы сразу придать ей нужный уголъ. При этомъ выпуклая сторона сгиба сплющивается (*A*, фиг. 5 и 6); заткнувъ одинъ конецъ трубки пробкою, въ другой конецъ вдуваютъ ртомъ воздухъ (фиг. 4) и возстановляютъ діаметръ трубки (*B*, фиг. 5 и 6). Пока трубка еще горяча, оба колѣна ея приводятъ въ одну плоскость, что легко про-



фиг. 4.



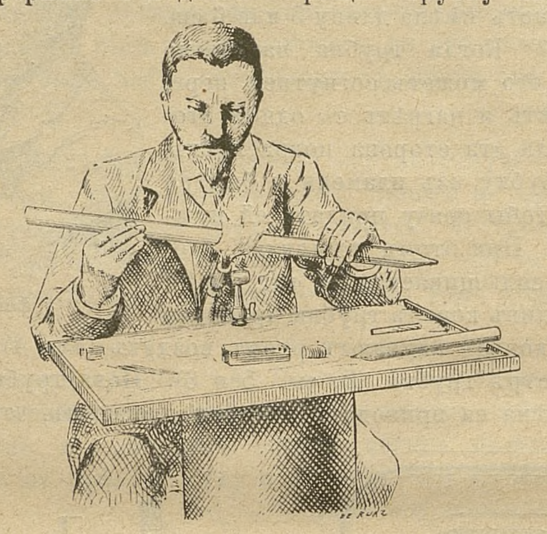
фиг. 5. фиг. 6.

вѣрить, смотря, закрываетъ-ли одна трубка другую. Совершенно такимъ же способомъ приготовляютъ и U-образную трубку.

4. *Оплавить конецъ трубки.* Взять трубку въ лѣвую руку и вертѣть ее между большимъ и указательнымъ пальцами такъ, чтобы малое пламя нагрѣвало конецъ трубки съ внутренней стороны; когда конецъ трубки покраснѣетъ, острыя края его закруглятся или, какъ говорятъ оплавятся. Нагрѣваніемъ внутренней поверхности трубки избѣгаютъ суженія конца.

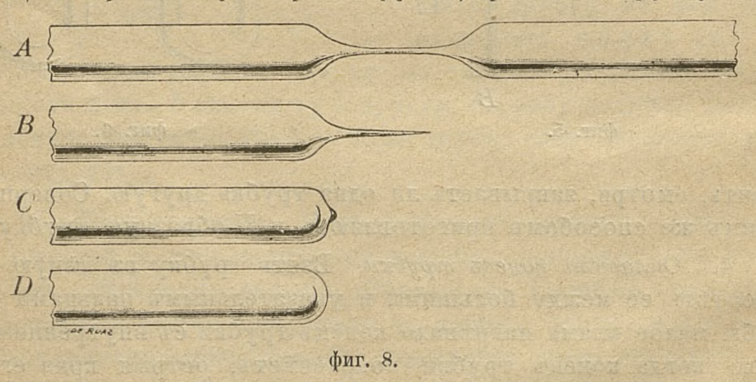
5. *Пробирка.* Отъ трубки отрѣзать кусокъ такой длины, чтобы можно было приготовить двѣ пробирки. Нагрѣть середину

трубки, вертя ее двумя руками (фиг. 7). Вынуть изъ пламени и вытянуть ($d = 0{\cdot}2$ cm.) (фиг. 8, *A*). Отдѣлить одну половину отъ другой (*B*). На маломъ пламени до-красна нагрѣть основаніе острія, непрерывно и медленно вращая трубку лѣвою рукою,



фиг. 7.

въ то время какъ правою рукою поддерживаютъ неподвижно остріе; быстро оттянуть правою рукою, продолжая трубку нагрѣ-



фиг. 8.

вать и вертѣть лѣвою рукою; остріе дѣлается тоньше и отрывается въ пламени, оставляя лишь небольшое возвышеніе (*C*), которое вновь расплавляютъ, затѣмъ въ другого конца трубки вдуваютъ воздухъ (сначала слабо, затѣмъ сильно) и такимъ об-

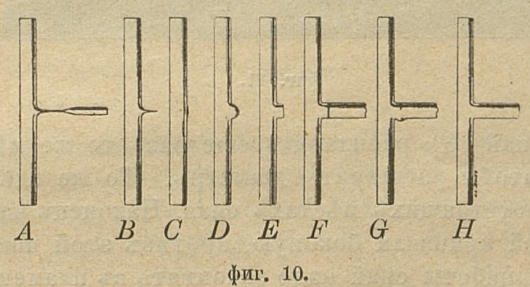
разомъ выдуваютъ нѣсколько дно и дѣлаютъ его тоньше. Затѣмъ деформированную часть еще разъ расплавляютъ и, вдувая воздухъ, закругляютъ дно. Въ правильности формы (*D*) удостовѣряются смотря вдоль оси.

6. *Выдуть шаръ на концѣ трубки.* Сильно и сразу нагрѣть конецъ пробирки на длинѣ отъ 1 до 3 cm., вслѣдствіе чего стекло здѣсь „наберется". Удаливъ изъ огня, вдувать воздухъ съ открытаго конца (сначала слегка, затѣмъ сильно), не переставая вертѣть пробирку; тогда шаръ получится правильной формы и центрированный (фиг. 9).



фиг. 9.

7. *Боковое припаиваніе.* Поворачивая трубку, слегка нагрѣть ея поперечное сѣченіе, проходящее чрезъ то мѣсто, гдѣ хотятъ сдѣлать припаиваніе; затѣмъ прекращаютъ вращеніе и нагрѣваютъ до-красна это мѣсто (очень малымъ заостреннымъ пламенемъ). Къ расплавленному мѣсту приткнуть конецъ стекляннаго острія, предварительно нагрѣтаго, и тотчасъ же оттянуть (*A*, фиг. 10); тонкую трубочку переплав-



фиг. 10.

ляютъ (*B*); оставшійся выступъ расплавляютъ въ пламени и, закрывъ одинъ конецъ трубки пробкою, чрезъ другой дуютъ, пока не получится вздутіе (*D*). Верхушку этого вздутія расплавляютъ и внезапнымъ сильнымъ вдуваніемъ заставляютъ его лопнуть, послѣ чего получается небольшое круглое отверстіе (*E*). Закрываютъ пробками оба конца трубки и, держа ее въ лѣвой рукѣ, нагрѣваютъ до-красна края отверстія. Въ то же время въ правой рукѣ держатъ трубку, которую хотятъ припаять и до-

красна раскаляютъ ея конецъ (фиг. 11). Края трубокъ складываютъ и сильно дуютъ, слегка оттягивая боковую трубку для того, чтобы расправить спай (*F*). До-красна нагрѣть одну сторону спая (малое пламя) и продолжительно дуть такъ, чтобы хорошенько



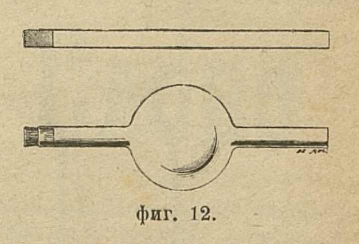
фиг. 11.

выправился спай (*G*); расплавить еще разъ то же мѣсто и слегка вдувать, чтобы расширить діаметръ. То же сдѣлать въ четырехъ равноотстоящихъ мѣстахъ спая. Наконецъ нагрѣть трубку, къ которой припаяли боковую, противъ этой послѣдней (*H*). По окончанiи работы спай надо закоптить въ пламени безъ поддуванія и дать охладиться.

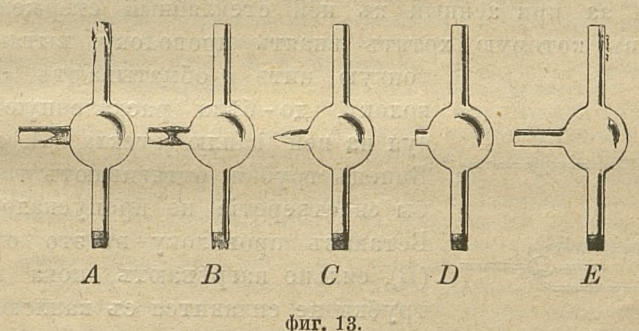
8. *Спаять двѣ трубки.* Если одна трубка шире другой, то первую оттянуть до діаметра второй.

Закрыть пробкою одну изъ трубокъ, взять ее въ лѣвую руку (пальцы внизу) и, вращая ее, до-красна нагрѣть края; также нагрѣть края второй трубки, которую держатъ въ правой рукѣ. Удалить трубки изъ пламени, сложить размягченными концами, вдувать воздухъ, но не растягивая трубокъ. Спай расплавлять въ четырехъ мѣстахъ, какъ было сказано выше.

9. *Выдуть шаръ по срединѣ трубки.* Закрытую съ одного конца трубку нагрѣвать, медленно вращая и укорачивая такъ, чтобы „набрать" стекла (фиг. 12). Когда это мѣсто расплавится, то, не переставая вращать, вдувать воздухъ, сначала слабо, затѣмъ сильно, пока не получится шаръ желаемаго діаметра.


фиг. 12.

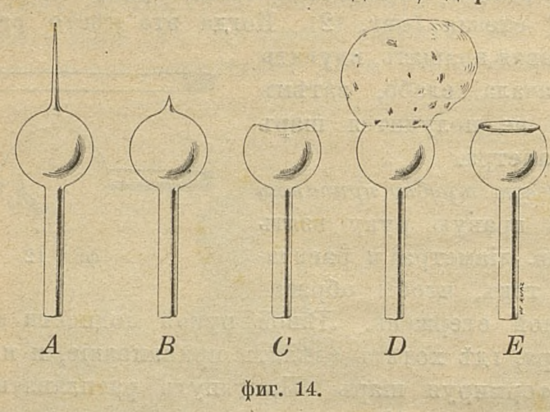
10. *Боковую трубку припаять къ шару.* Въ правую руку взять трубку (0·5 cm. діаметра) и расплавить конецъ такъ, чтобы образовался сплошной стержень. Лѣвой рукой поднести къ пламени то мѣсто шара, гдѣ хотятъ сдѣлать припаиваніе, и нагрѣть это мѣсто, не деформируя шаръ. Приткнуть расплавленный стержень къ шару (*A*, фиг. 13) и дуть въ шаръ (слегка, затѣмъ сильно), оттягивая понемногу стержень (*B*). Расплавить и запаять конецъ образованной трубочки (*C*). Затѣмъ открываютъ конецъ этой трубки, выдувая здѣсь стекло (*D*); къ краямъ этой трубки припаиваютъ другую трубку (*E*).



фиг. 13.

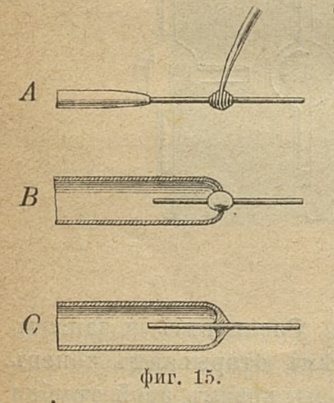
11. *Выдуть воронку на концѣ трубки.* Оттянуть трубку и чрезъ этотъ конецъ выдуть достаточно толстый шаръ (*A*, фиг. 14); открыть широкій конецъ трубки и — пріемомъ, указаннымъ въ § 5—на пламени отдѣлить тонкую трубочку отъ шара (*B*). Расплавить выступъ (*C*); затѣмъ быстро раздувать дно (*D*), которое при этомъ лопается; края сравнять ножомъ; затѣмъ быстро нагрѣть окружность, оплавляя края, не давая имъ втянуться внутрь (*E*).

12. *Въ трубку впаять платиновую проволоку.* Проволоку, которая должна быть чистою и гладкою, держать въ пинце-



фиг. 14.

тахъ или за припаенный къ ней стеклянный стержень. Изъ трубки, въ которую хотятъ впаять проволоку, вытягиваютъ тонкую нить и обматываютъ ею проволоку, до-бѣла раскаленную, образуя на ней каплю стекла (*A*, фиг. 15). Конецъ трубки оттягиваютъ такъ, чтобы ея отверстіе не пропускало капли. Вставивъ проволоку въ это отверстіе (*B*), сильно нагрѣваютъ, пока конецъ трубки не сплавится съ каплею. Сильно вдуваютъ, чтобы выпятить конецъ трубки (*C*). Во все время этихъ операцій нагрѣвать до-красна всю проволоку. Во избѣжаніе быстраго охлажденія закоптить конецъ трубки и проволоки.



фиг. 15.



ОТКРЫТА ПОДПИСКА НА

1904 годъ. ПОПУЛЯРНО-НАУЧНЫЙ ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛЪ **12-й годъ.**

Научное Слово

издающійся при содѣйствіи нѣкоторыхъ профессоровъ Московскаго университета Ближайшее участіе въ редакціи журнала принимаютъ: проф. Н. А. Умовъ, проф. В. О. Ключевскій, прив.-доц. М. М. Богословскій, проф. П. И. Новгородцевъ, проф. Л. М. Лопатинъ, проф. кн. С. Н. Трубецкой.

Въ ближайшихъ книгахъ 1904 г. предположено напечатать, между прочимъ, слѣдующія статьи: I. Отдѣлъ естествознанія: Проф. В. М. Арнольди, „Современное состояніе вопроса о происхожденіи видовъ у растеній"; Проф. В. И. Вернадскій, „Страница изъ исторіи русскаго естествознанія (памяти В. В. Докучаева)"; прив.-доц. Н. П. Кастеринъ, „Жидкій воздухъ"; проф. Л. К. Лахтинъ, „Н. В. Бугаевъ"; проф. Н. И. Стороженко, „Отрывокъ изъ воспоминаній о Н. В. Бугаевѣ"; проф. Э. Е. Лейстъ, „Полярныя сіянія и магнитныя возмущенія"; проф. Б. К. Млодзѣевскій, „О безконечно-малыхъ"; проф. И. И. Мечниковъ, „Изъ исторіи животныхъ обществъ"; проф. К. А. Тимирязевъ, „Космическая функція растенія"; проф. Н. А. Умовъ, „О безпроволочномъ телеграфѣ". II. Отдѣлъ историческій: А. В. Баулеръ, „Гюисмансъ"; проф. П. Г. Виноградовъ, „Аграрный кризисъ въ римской имперіи"; М. О. Гершензонъ, „Русскій іезуитъ В. С. Печеринъ"; прив. доц. И. И. Ивановъ, „Сенъ-Симонизмъ, его прошлое и настоящее"; прив.-доц. А. А. Кизеветтеръ, „Посадская община въ Россіи XVIII ст."; проф. В. О. Ключевскій, „Два очерка изъ исторіи Московскаго государства"; проф. Д. М. Петрушевскій, „Очерки изъ исторіи средневѣковаго общества и государства"; Б. И. Сыромятниковъ, „Общественные классы въ древней Руси"; проф. кн. С. Н. Трубецкой, Лишніе люди и герои нашего времени"; проф. Н. И. Стороженко и Р. М. Хинъ, „Ларошфуко и г-жа Лафайетъ"; прив.-доц. М. М. Хвостовъ, „Теодоръ Моммсенъ". III. Отдѣлъ общественно-юридическій: М. Н. Гернетъ, „Предшественники соціологической школы уголовнаго права"; прив.-доц. Н. В. Давыдовъ, „Новое уголовное уложеніе"; прив.-доц. И. А. Кистяковскій, „Новыя данныя по ассиро-вавилонскому праву"; проф. В. М. Хвостовъ, „Проектъ новаго гражданскаго уложенія". IV. Отдѣлъ философскій; проф. П. И. Новгородцевъ, „О принципѣ морали".

Съ конца 1903 г. введены: „Обзоръ журналовъ" и „Хроника театра".

Напечатаны и предполагаются статьи слѣдующихъ авторовъ: проф. Д. Н. Анучина, А. П. Басистова, прив.-доц. М. М. Богословскаго, проф. С. Н. Булгакова, проф. В. И. Вернадскаго, акад. А. Н. Веселовскаго, проф. А. Н. Веселовскаго, Ю. А. Веселовскаго, прив.-доц. Д. В. Викторова, проф. П. Г. Виноградова, проф. Р. Ю. Виппера, П. П. Гензеля, М. Н. Гернета, М. О. Гершензона, проф. В. И. Герье, прив.-доц. М. И. Голенкина, проф. Д. А. Гольдгаммера, Ю. В. Готье, проф. И. М. Гревса, А. Е. Грузинскаго, прив.-доц. Н. В. Давыдова, проф. В. Е. Дена, прив.-доц. В. Я. Желѣзнова, прив.-доц. С. И. Живаго, проф. Н. Д. Зелинскаго, прив.-доц. И. И. Иванова, прив.-доц. Н. П. Кастерина, прив.-доц. А. А. Кизеветтера, проф. В. О. Ключевскаго, М. Н. Коваленскаго, акад. А. Ѳ. Кони, проф. Н. П. Кондакова, акад. Ѳ. Е. Корша, проф. Л. К. Лахтина, проф. Э. Е. Лейста, проф. Л. М. Лопатина, проф. М. К. Любавскаго, проф. А. А. Мануилова, проф. И. И. Мечникова, проф. В. А.

Михельсона, С. П. Моравскаго, В. М. Нечаева, М. Н. Никольскаго, проф. П. И. Новгородцева, проф. А. П. Павлова, проф. Д. М. Петрушевскаго, проф. К. Д. Покровскаго, М. Н. Покровскаго, прив.-доц. Г. К. Рахманова, прив.-доц. Н. А. Рожкова, прив.-доц. Н. И. Романова, А. Н. Савина, прив.-доц. П. Н. Сакулина, проф. А. Ф. Самойлова, Ю. Ѳ. Семенова, В. Д. Соколова, проф. Н. И. Стороженко, проф. И. М. Сѣченова, прив.-доц Б. И. Сыромятникова, проф. К. А. Тимирязева, проф. кн. С. Н. Трубецкого, проф. Н. А, Умова, прив.-доц. С. Ф. Фортунатова, проф. В. М. Хвостова, Р. М. Хинъ, прив.-доц. П. Д. Хрущова, проф. В. К. Цераскаго, проф. В. Я. Цингера, прив.-доц. А. В. Цингера, М. Н. Шатерникова, прив.-доц. П. К. Штернберга, акад. И. И. Янжула.

Всѣ новые подписчики на 1904 г. въ мартѣ получатъ безплатно начало статей проф. И. И. Мечникова: „Этюды о природѣ человѣка". Подписчики 1903 г., не возобновившіе подписки на 1904 г., получатъ безплатно окончаніе этихъ статей.

Въ текстѣ журнала помѣщаются чертежи, карты, рисунки, портреты и снимки съ различныхъ произведеній искусства. Журналъ выходитъ ежемѣсячно, за исключеніемъ іюня и іюля, книгами въ размѣрѣ отъ 8 до 10 печатныхъ листовъ.

Подписн. цѣна за десять книгъ: безъ доставки въ Москвѣ на годъ **5** р. **50** к., на полгода **2** р. **75** к., съ доставкой и пересылкой во всѣ города Россіи на годъ **6** р., на полгода **3** р; за границу **8** р. Для учащихся въ высшихъ учебн. завед. годовая цѣна уменьшается на **1** р.

Продолжается подписка на 1903 г. Книги VI, VII и VIII за 1903 г. продаются отдѣльно по 75 к. каждая. Подписка принимается въ Москвѣ въ конторѣ редакціи (Воздвиженка, Ваганьковскій пер., д. Куманина) и въ конторѣ Н. Печковской (Петровскія линіи). Гг. иногородныхъ просятъ обращаться непосредственно въ контору редакціи.

Издатель прив.-доц. **Г. К. Рахмановъ.** Редакторъ проф. **Н. А. Умовъ.**